

Aus der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie
Universitätsklinikum des Saarlandes
Homburg/Saar
Direktor: Herr Prof. Dr. med. Dieter Kohn

Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter

—

Vergleich zweier Messmethoden

als Dissertationsschrift
zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der Universität des Saarlandes

vorgelegt von
Benedikt Friedrich Krebs
geboren am 01.03.1987 in Homburg/Saar

2016

Dekan: Prof. Dr. med. M. D. Menger

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Jahr der Promotion: 2016

meiner Familie in Dankbarkeit gewidmet

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung	1
1.1. Zusammenfassung	1
1.2. Summary	3
2. Einleitung	5
2.1. Anatomie und Biomechanik des Patellofemoralgelenkes	5
2.2. Patella baja und Patella alta	6
2.2.1. Patella baja	6
2.2.1.1. Funktionelle Patella baja	7
2.2.1.2. Strukturelle Patella baja	8
2.2.1.3. Algodystrophische Patella baja	10
2.2.1.4. Kongenitale Patella baja	11
2.2.2. Patella alta	11
2.3. Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe	14
2.3.1. Direkte Messmethoden	14
2.3.2. Indirekte Messmethoden	16
2.3.3. Methoden zur Bestimmung der Patella höhe im Kindesalter	17
2.3.4. Methode nach Caton-Deschamps und der Plateau-Patella-Winkel	18
2.4. Altersbedingte Schwierigkeiten in der Bestimmung der Patellahöhe	18
3. Zielsetzung der Arbeit	20
4. Material und Methodik	21
4.1. Patienten	21
4.2. Röntgen	22
4.2.1. Röntgenindikation	22
4.2.2. Röntgenabteilung	23
4.2.3. Anfertigung der Röntgenaufnahmen	23
4.2.4. Röntgenfilmbetrachter	23
4.3. Messmethoden	24
4.3.1. Methode nach Caton-Deschamps	25
4.3.2. Plateau-Patella-Winkel nach Portner und Pakzad	25
4.4. Studienprotokoll	25
4.5. Statistik	26

5. Ergebnisse	29
5.1. Studeinpatienten, demographische Daten und Ausgangswerte	29
5.2. Klinische Bedeutung	31
5.3. Verteilung der Messergebnisse	33
5.4. Korrelation der Untersuchungszeitpunkte	34
5.5. Korrelation der Untersuchungsmethoden	38
6. Diskussion	41
6.1. Aufbau der Studie	41
6.1.1. Studiendesign	41
6.1.2. Studienpopulation	41
6.1.3. Studienablauf	41
6.2. Untersuchungsmethoden	42
6.2.1. Bildgebung	42
6.2.2. Messmethoden der Patellahöhe	42
6.3. Ergebnisse	46
6.3.1. Messergebnisse und Korrelationen	46
6.3.1.1. Kontingenzanalyse	46
6.3.1.2. Messergebnisse	46
6.3.1.3. Korrelation der Untersuchungszeitpunkte	49
6.3.1.4. Korrelation der Untersuchungsmethoden	51
7. Schulssfolgerungen	53
8. Literaturverzeichnis	54
9. Veröffentlichungen	62
9.1. Veröffentlichungen zum Thema	62
10. Danksagung	63

1. Zusammenfassung

1.1. Zusammenfassung

Eine normale Patellaposition ist essentiell notwendig für eine physiologische Kniefunktion sowohl beim Erwachsenen als auch im Kindesalter. Folglich ist das Wissen über die Patellaposition einer der wichtigsten Faktoren zur Diagnosefindung und zum Therapieentscheid bei verschiedenen orthopädischen Erkrankungen des Kniegelenks.

In den letzten Jahrzehnten wurden verschiedene Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe entwickelt. Diese Methoden waren in ihrer Anwendung häufig zeitaufwendig und umständlich, da für die Bestimmung der Patellahöhe oftmals zwei Messungen mit einer entsprechenden Kalkulation notwendig waren. 2011 wurde eine neue Methode zur Bestimmung der Patellahöhe (Plateau-Patella-Winkel) eingeführt, welche zeitsparend und technisch einfach durchzuführen ist. Da bisher lediglich die Anwendbarkeit dieser Methode im Erwachsenenalter untersucht wurde, war es nun Ziel der vorliegenden Studie zu prüfen, ob diese neue Methode ebenso valide Ergebnisse bei der Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Adoleszentenalter liefert und ob diese gut mit der bisher im Kindes- und Adoleszentenalter etablierten Methode von Caton-Deschamps korreliert.

In dieser Studie wurden insgesamt 47 seitliche Röntgenbilder von 37 Kindern in 30-45° Flexion untersucht. Das mittlere Patientenalter betrug 12,4 (+/-1,8) Jahre. Die Bestimmung der Patellahöhe erfolgte durch zwei Untersucher zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils mit dem Plateau-Patella-Winkel sowie nach Caton-Deschamps. Neben der Betrachtung des Gesamtkollektivs erfolgte die Unterteilung in die Subgruppen Seite des Kniegelenkes sowie Geschlecht und Alter der Patienten. Die mittels Plateau-Patella-Winkel gewonnenen Messergebnisse wurden mit denen nach Caton-Deschamps verglichen und die Intra- und Interobserver Reliabilität erhoben. Die statistische Analyse erfolgte mittels Kolmogorow-Smirnow-Test unter Zuhilfenahme der Software SPSS. Für den Vergleich der Gruppen untereinander hinsichtlich der Inter- und Intraobserver Reliabilität wurde die Intraklassenkorrelation verwendet, zur Überprüfung der Korrelation der einzelnen Messmethoden untereinander die Pearson-Korrelation.

Messungen die mit der Methode nach Portner und Pakzad erhoben wurden zeigten in 119 Fällen eine Patella norma, in 61 Fällen eine Patella alta sowie in 4 Fällen eine Patella baja. Durch Anwendung des Caton-Deschamps-Index konnten 161 Patellae normae, 23 Patellae altae und keine Patellae bae identifiziert werden. Bezüglich der Inter- und Intraobserver

Reliabilität zeigte sich bei beiden Untersuchern eine hohe Intraklassenkorrelation des Plateau-Patella-Winkels von 0,87 (95%-Konfidenzintervall 0,78-0,93) sowie des Caton-Deschamps-Index von 0,81 (95%-Konfidenzintervall 0,63 bis 0,93). Abhängig von den Untersuchern konnten nur geringe Abweichungen der Ergebnisse (Mittelwert 0,025) beobachtet werden. Zudem zeigte sich eine hohe Korrelation der erhobenen Messergebnisse mittels Plateau-Patella-Winkel und Caton-Deschamps--Index (Pearsonkoeffizient 0,542). Bei der Analyse der Messergebnisse in den einzelnen Subgruppen bezüglich Seite, Alter und Geschlecht, konnten abhängig von der angewandten Messmethode geringe Unterschiede beobachtet werden.

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass die Bestimmung der Patellahöhe mittels Plateau-Patella-Winkel auch bei Kindern und Jugendlichen eine präzise Messmethode mit einer guten Reproduzierbarkeit (hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität) ist. Werden die Messungen durch unterschiedliche Personen durchgeführt, zeigt sich eine hohe Korrelation der Ergebnisse. Die hier vorgestellte Studie zeigt, dass der Plateau-Patella-Winkel auch im Kindesalter eine valide Technik zur Bestimmung der Patellhöhe ist. Sie scheint der bisher etablierten Methode nach Caton-Deschamps durch eine bessere Reproduzierbarkeit sowie durch eine zeitsparende und technisch einfache Anwendbarkeit sogar überlegen zu sein.

1.2. Summary

A normal patella position is essential for a physiological knee joint function in adults and children. Consequently the knowledge about the patellar height is one of the most important factors in several orthopaedic diseases for the corresponding diagnosis and therapy adjustment.

In recent decades several methods of evaluation the patellar height were established. All of the currently accepted methods are time-consuming and cumbersome to use because they require two measurements as well as a calculation. In 2011 Portner and Pakzad established a new method of evaluating the patellar height (the plateau-patella angle), to offer a simpler alternative. Due to the fact that the use of this method was so far investigated only in adult age, the aim of this retrospective cross-sectional study was to analyze, if the new method also provides reliable values in measurements of patellar height in children and if it correlates well with the traditional in childhood and adolescens used method by Caton-Deschamps.

A total of 37 children with 47 radiographs in 30° knee flexion were included in this study. The average age of these patients was 12.4 (+/-1.8) years. Patellar height was measured by two Untersuchers at two different times according to the plateau-patella-angle and Caton-Deschamps-method in the whole group as well as in subgroups classified in side, gender and age of the patients. For evaluation, we compared the values achieved by the plateau-patella angle with those validated by Caton-Deschamps and Intra- and Interobserver reliability were analyzed. Statistical analysis was performed by the Kolmogorow-Smirnow-test using the software SPSS. Thus, the comparison between the groups was provided regarding the Intra- and Inter-observer-reliability by the Intraclass-correlation, the correlation between the methods by the Pearson-coefficient.

Measurements with the Plateau-Patella-Angle showed a patella norma in 119 cases, in 61 cases a patella alta and in 4 cases a patella baja. Using the Caton-Deschamps-indices, 161 patella norma, 23 patella alta and no patella baja could be identified. Regarding the Intra- and Interobserver reliability the Intraclass-correlation of the Plateau Patella Angle was 0.87 (95%-confidence interval 0.78-0.93) in both examiners and of the Caton-Deschamps Index 0.81 (95%-confidence interval 0.63 bis 0.93). There were only small discrepancies of the values depended on the examiners (mean 0.025). Furthermore, there was a high correlation between the plateau-patellar-angle and the Caton-Deschamps-Indices (Pearson-coefficient

0.542). The evaluation of the determined values regarding gender, age and side showed some discrepancies depending on the method use.

In this study could be showed, that the evaluation of patellar height using the Plateau-Patella-Angle is also in children and adolescens a precise measurement method with a good reproducibility (high Intra- and Inter-Untersucher-reliability). If measurements are used by different persons, there is a high correlation between the results. This study shows that the Plateau-Patella-Angle is a valid technique for evaluation the patellar height in children which seems to get advantage over other traditional methods because of its better reproducibility as well as less time-consuming and easier use.

2. Einleitung

2.1. Anatomie und Biomechanik des Patellofemoralgelenkes

Die Patella ist das größte Sesambein des menschlichen Körpers, eingebettet im Sehnenapparat des Musculus quadriceps femoris. Sie ist ein Teil des Patellofemoralgelenkes, in dem sie in unterschiedlichen Flexionsstellungen des Kniegelenkes mit der Trochlea femoris artikuliert. Sie fungiert als Hebelarm und kompensiert Krafteinwirkungen, welche bei Extension und Flexion des Beines durch die Umlenkung entstehen. Aufgrund dessen sollte die Patella stets im Zusammenhang mit dem gesamten Streckapparat des Kniegelenkes betrachtet werden.

Die Form der Patella kann individuell stark variieren. Ihre gesamte Länge beträgt durchschnittlich 44,6mm (♂: 45,6; ♀: 40,0), die Breite 45,8mm (♂: 46,6; ♀: 41,7) und ihre Dicke 22,3mm (♂: 22,7; ♀: 20,4) (1). Die Facies articularis kann in unterschiedliche Flächenanteile eingeteilt werden. Der laterale Anteil, welcher die Hauptfacette bildet, ist meist deutlich breiter als der mediale Anteil (2).

Medial schließt sich die mediale Randfacette an, welche allerdings erst bei höheren Flexionsgraden des Kniegelenkes mit der Facies patellaris des Femurs artikuliert (3, 4). Die Länge dieser Gelenkfläche beträgt durchschnittlich 32,9 mm (♂: 33,3; ♀: 30,7) (1).

Die Patella selbst ist messbar elastisch, was durch ihr spezielle Bauweise aus zwei stabilen und dichten Kortikalisschichten, welche eine weit weniger dichte Trabekelstruktur in sich als andere Skelettabschnitte aufweisen, erklärt werden kann (5). Dadurch können Kräfte, die bei Kniebewegungen einwirken, deutlich besser verteilt werden.

Der retropatellare Gelenkknorpel ist der dickste und weichste Gelenkknorpel des menschlichen Körpers (5). An der Facies articularis wird er im Mittel 3 mm, an Femur und Tibia 2 bis 3 mm bemessen. Die Knorpelstrukturen dienen unter anderem dazu, die Inkongruenz der beiden Gelenkpartner je nach Gelenkstellung auszugleichen (6).

Während des Bewegungsablaufes im Patellofemoralgelenkes führt die Kniescheibe eine Roll-gleitbewegung auf ihrem femoralen Gelenkpartner durch. Hierbei verläuft die Gleitphase entgegengesetzt der Abrollrichtung (7). Je nach Beugegrad des Kniegelenkes artikulieren die Patellarückfläche und die unterschiedlichen Anteile der Trochlea femoris miteinander (3).

Die sichere Führung der Patella in ihrem Gleitlager wird durch ein komplexes und dynamisches Zusammenspiel der verschiedenen Anteile des M. quadriceps femoris und

einer Vielzahl von Bandstrukturen gewährleistet, die um sie herum angeordnet sind. Betrachtet man die Position der Patella in unterschiedlichen Flexionsgraden, so stellt man fest, dass jeweils unterschiedliche Knorpelanteile mit Anteilen der Trochlea femoris artikulieren (3, 4).

Bei vollständiger Kniegelenksextension liegt die Patella sehr weit proximal und hat lediglich mit ihren distalen apexnahen Anteilen Kontakt zur Trochlea. Der restliche Teil liegt dem supratrochlearen Fettposter auf. Bei fehlender Führung durch die Trochlea ist die Patella in dieser Position am besten nach medial und lateral verschieblich.

Bei zunehmender Flexion wandert die Patella am Femur nach distal und artikuliert mit ihren proximalen basisnahen Anteilen mit der Trochlea femoris.

Femur und Tibia befinden sich physiologischer Weise in einer leichten Valgusstellung zueinander. Hieraus resultiert eine nach lateral abweichende Zugrichtung des M. quadriceps femoris, welche die Patella tendenziell beim Anspannen dieses Muskels nach lateral zieht. Damit die Patella in ihrer Bahn gehalten wird, wirken der M. vastus medialis, das mediale Retinaculum und das mediale Lig. patellofemorale diesem Zug entgegen. Diverse Studien haben gezeigt, dass dies insbesondere in Extension des Kniegelenkes als wichtigster medialer Stabilisator fungiert und eine Abweichung der Kniescheibe nach lateral verhindert (8, 9).

2.2. Patella baja und Patella alta

Die korrekte Höhe der Patella ist essentiell notwendig für einen ungestörten und physiologischen Bewegungsablauf im Patellofemoralgelenk. Nur hierdurch kann eine optimale Krafteinwirkung der Streckmuskulatur gewährleistet werden. Pathologien hinsichtlich der Patellaposition können in einem verstärkten Knorpelabrieb bis hin zur Patellofemoralarthrose resultieren (10).

2.2.1. Patella baja

Unter einer Patella baja versteht man einen Tiefstand der Kniescheibe unter eine je nach Autor definierte Höhe (11 – 30) (Abb.1).

In der Literatur werden vier Ursachen der Patella baja beschrieben (31). Ein funktioneller Patellatiefstand oftmals bedingt durch Pathologien des Muskelbandapparates (z.B. aufgehobener Quadrizepssehnenzug im Rahmen posttraumatischer oder postoperativer

Immobilisation) kann noch reversibel sein, kann jedoch im Verlauf in einen irreversiblen Zustand übergehen (strukturelle Patella baja). Die schwerste Form eines strukturellen Kniescheibentiefstandes stellt die algodystrophische Patella baja dar, die mit erheblichen



Abbildung 1: Seitliches Röntgenbild eines linken Kniegelenks eines 10-jährigen Kindes mit struktureller Patella baja.

Schmerzen und Funktionseinschränkungen des Kniegelenkes einhergehen kann. Von diesen drei Formen ist die nicht traumatische kongenitale Patella baja zu differenzieren (31).

2.2.1.1. Funktionelle Patella baja

Als Ursache für eine funktionelle Patella baja wird ein aufgehobener oder abgeschwächter Quadrizepssehnenzug diskutiert. Dieser Zustand entwickelt sich häufig im Rahmen einer

postoperativen oder posttraumatischen Immobilisation, was mit einem Tonusverlust des Muskels einhergehen kann (31). Auch ein persistierender Kniegelenkerguss kann dazu beitragen die Aktivität des M. quadriceps femoris reflektorisch zu hemmen (31). Fahrer et al. postulierten, dass weibliche Personen stärker zu einer funktionellen postoperativen Quadrizepsinsuffizienz als männliche Patienten neigen (32). Des Weiteren hat sich gezeigt, dass eine verlängerte perioperative Anwendung eines Tourniquets zu einer Druckschädigung des Quadrizeps führen kann. In seltenen Fällen konnten diesbezüglich irreversible Schäden am muskulären Streckapparat beobachtet werden (33, 34).

Eine spezielle Form der Quadrizepssehneninsuffizienz stellt die Ruptur derselbigen dar. Klinisch imponiert eine suprapatellar gelegene tastbare Weichteileinbuchtung (31). Die schnelle Diagnose dieses Integritätsverlustes des Streckapparats und die operative Intervention sind essentiell notwendig, um eine irreversible Patella baja im weiteren Verlauf zu vermeiden.

Eine Sonderstellung nehmen an Poliomyelitis erkrankte Kinder mit einer durch das Grundleiden bedingten Lähmung der Quadrizepsmuskulatur ein. Die hier vorliegende Patella baja ist irreversibel, führt in der Regel aber nicht zu strukturellen Veränderungen (31).

Differentialdiagnostisch lässt sich eine funktionelle Patella baja durch eine erhaltene aktive oder passive kraniokaudale Gesamtverschieblichkeit von über 2 cm in der Regel gut von einer strukturellen Patella baja abgrenzen (31).

2.2.1.2. Strukturelle Patella baja

Eine strukturelle Patella baja kann aus einem funktionell posttraumatischen oder postoperativen Patellatiefstand resultieren, wenn dieser nicht rechtzeitig erkannt und therapiert werden. Zu den strukturellen Veränderungen können Verwachsungen der Patellasehne mit ihrer Umgebung, Fibrosierung des peripatellaren Gewebes oder des Hoffa-Fettkörpers, sowie intraartikuläre Adhäsionen im suprapatellaren, medialen oder lateralen Recessus gehören (31).

Somit kann prinzipiell nahezu jede chirurgische Intervention am Kniegelenk zu einer überschießenden Vernarbung führen und in einer strukturellen Patella baja resultieren.

So konnte in der Vergangenheit nach einer hohen tibialen Umstellungsosteotomie postoperativ gehäuft das Auftreten einer Patella baja beobachtet werden. Durch die

postoperative temporäre Immobilisation wurden Verkürzungen der Patellasehne um etwa 5-10% beschrieben (35 – 40).

Eine weitere Operation, bei der postoperativ häufig ein Patellatiefstand beobachtet werden kann, ist der Ersatz des vorderen Kreuzbandes mittels Patellasehne. Die Entnahme des mittleren Sehnenanteils resultiert im postoperativen Verlauf in einer Verkürzung der Sehne um durchschnittlich 1,14 - 4,2mm oder 2,6 - 9,7% (41 – 44). Murkami beschrieben, dass eine Rekonstruktion des vorderen Kreuzbandes unabhängig von dem angewandten Operationsverfahren mittels Semitendinosus-Gracilis- oder Patellasehnenplastik nahezu regelmäßig mit einer Fibrosierung des Hoffa-Fettkörpers einhergeht (45).

Auch nach endoprothetischem Kniegelenkersatz wurden in der Vergangenheit postoperative Veränderungen der Patellalage beobachtet. Chonko et al. beschrieben eine hohe Wahrscheinlichkeit für das Auftreten einer Patella baja nach bikondylärem Kniegelenkesersatz (46). Anagnostakos et al. konnten ähnliche Erkenntnisse nach Implantation einer unikompartimentellen Endoprothese berichten (47). Allerdings sollte in der Interpretation dieser Erkenntnisse berücksichtigt werden, dass durch die mögliche Verlagerung der Gelenklinie bedingt durch die Operation ein Patellatiefstand imitiert werden kann. Grelsamer beschrieb unter diesem Aspekt das klinische Bild einer Pseudo-Patella-baja (48).

Weale et al. untersuchten das Risiko des Auftretens eines postoperativen Patellatiefstandes nach unikompartimenteller und bikompartimenteller Endoprothese des Kniegelenkes (49). Die Autoren konnten feststellen, dass eine Patella baja nach einer totalen Endoprothese mit 34% deutlich häufiger auftrat als nach einem Teilgelenkersatz. Nach Implantation eines monokondylären Gelenkersatzes konnte bei lediglich 5% der Probanden ein Patellatiefstand diagnostiziert werden (49).

Gewisse Operationsverfahren vermögen die Prognose hinsichtlich eines adäquaten Patellagleitens im patellofemoralen Gleitlager nach endoprothetischem Gelenkersatz zu verbessern. So postulierten Flören et al., dass ein kleinerer chirurgischer Zugang zum OP-Gebiet das Risiko einer postoperativen Patellafehllage von 37 % auf 12% reduziert (50). Zudem vermag der intraoperative Erhalt des Hoffa-Fettkörpers einer Verkürzung der Patellasehne vorbeugen (51).

Eine posttraumatisch oder postoperativ überschießende Fibrosierung des Hoffa-Fettkörpers führt häufig zu einer Verkürzung der Patellasehne, welche oft als Ursache der Patella baja

diskutiert wird. Ursächlich scheint eine nachweisbare gewebestrukturelle Umwandlung des Fettkörpers zu sein, welche einen Austausch von Kollagenfasern von breitem Durchmesser (75-150 nm) zugunsten von schmalen Fasern (30-70 nm) beinhaltet (52).

Die strukturellen Veränderungen, insbesondere die intraartikulären Adhäsionen und Verwachsungen der Patellasehne mit der Vorderfläche des Tibiakopfes, können in einem Flexionsdefizit – in schweren Fällen bis zu 40° - resultieren. Ahmad et al. beschrieben neben einem möglichen Beugedefizit eine gehäufte postoperative mediale und distale Verschiebung der Patella und damit auch eine Distalisierung der Kontaktfläche zum Femur (53).

Entscheidend für die diagnostische Abgrenzung eines strukturellen von einem funktionellen Patellatiefstand ist die Gesamtverschieblichkeit Kniescheibe von weniger als 2 cm (54). Ist die Patella nach kranial jedoch nicht mehr nach kaudal zu verschieben, lässt dies vermuten, dass die Verwachsungen vorwiegend intraartikulär sind. Ist isoliert die kraniale Verschieblichkeit aufgehoben, spricht dies für eine Fibrosierung des Hoffa-Fettkörpers, eine Verkürzung der Retinacula oder eine Verwachsung der Patellasehne mit der Vorderfläche der Tibia (31).

2.2.1.3. Algodystrophische Patella baja

Das Krankheitsbild der algodystrophischen Patella baja wird in seiner Gesamtheit in der Literatur als Morbus Sudeck oder sympathische Reflexdystrophie betitelt (55). Die International Association for the Study of Pain (IASP) beschloss im Jahre 1993 diese Begriffe durch den deskriptiven Begriff des „complex regional pain syndrom“ (CRPS) zu ersetzen (56).

In der aktuellen Literatur wird zwischen einem CRPS I, bei dem keine primären Nervenläsionen vorliegen, von einem CRPS II, bei dem Verletzungen neuronaler Strukturen nachweislich sind, unterschieden (56). Als Ursachen für die Algodystrophie werden Frakturen, stumpfe Trauma und chirurgische Eingriffe an dem Gelenk selbst oder gelenksnah diskutiert (57). Charakteristisch für das Krankheitsbild ist die Trias aus autonomen, motorischen und sensorischen Störungen, wobei der „sympathisch unterhaltende Schmerz“ als Leitsymptom gilt (58). In Folge einer Algodystrophie weist die Patella den ausgeprägtesten Tiefstand aller Formen auf. Die Patellasehne schrumpft hierbei auf einen nur noch spärlichen Rest ihrer ursprünglichen kräftigen Form. Die

algodystrophische Patella baja hat die schlechteste Prognose in Hinblick auf die Wiederherstellung des physiologischen Gleitlagers und der Beweglichkeit (59).

2.2.1.4. Kongenitale Patella baja

Ein isolierter angeborener Patellatiefstand wird im klinischen Alltag nur sehr selten beobachtet. In vielen Fällen ist diese Form des Patellatiefstandes mit einem Zwergenwuchs vergesellschaftet (31). Auch Fulkerson beschrieb das gehäufte Auftreten einer Patella baja bei achondroplastischem Nanismus (60). Bei einer anderen Form des Zwergenwuchses, der diastrophischen Dysplasie, konnte in der Vergangenheit neben einem Patellatiefstand zusätzlich eine Lateralisierung und Fragmentierung der Kniescheibe beobachtet werden (61).

Zudem wird ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines Patellatiefstandes und den regionalen Landschaftsgegebenheiten diskutiert. So beschrieb Henschen im Jahre 1929 ein gehäuftes Vorkommen einer kongenitalen Patella infera bei Personen, die in Gebirgsregionen leben (62).

2.2.2. Patella alta

Die Patella alta ist eine Lageanomalie der Patella, bei der die Kniescheibe ihre normale Position gegenüber der Trochlea patellaris nach proximal verändert (Abb. 2).

Der Patellahochstand kann sowohl angeboren als auch erworben sein.

Der primäre angeborene Kniescheibenhochstand kann mitunter aus einer anatomisch zu langen Patellasehne resultieren (63). Auch Erkrankungen des ossären Ansatzes der Patellasehne werden als ursächlich für diese Lageanomalie diskutiert. So wird eine Patella alta nicht selten bei einer aseptischen Osteonekrose der Tuberositas tibiae (Morbus Osgood-Schlatter) beobachtet (64 – 66) (Abb. 3).

Nach atraumatischer oder traumatischer Quadrizepssehnenruptur kann nahezu immer ein sekundärer Patellahochstand beobachtet werden. Dieser kann selbst nach operativer Adaption der Sehne in 50-70% der Fälle weiter persistieren (67).

Folge eines Kniescheibenhochstandes ist eine Reduktion der patellofemoralen Kontaktfläche um durchschnittlich 14 mm² (68). Ward und Powers konnten in der Vergangenheit feststellen, dass durch die Reduktion dieser Kontaktfläche und durch eine mit dem Patellahochstand einhergehende Lateralisierung der Kniescheibe das

Patellofemoralgelenk regelmäßig einer erhöhten unphysiologischen Belastung ausgesetzt wird (69).



Abbildung 2: Seitliches Röntgenbild eines rechten Kniegelenks eines 11-jährigen Kindes mit Patella alta.

Desweiteren ist ein Kniescheibenhochstand nicht selten mit patellofemorale Instabilitäten assoziiert (70). Zwischen 0 und 30° Kniegelenksflexion scheint die Instabilität am stärksten ausgeprägt zu sein (71).

Folglich ist es naheliegend, dass die Patella alta in der Literatur häufig als Ursache aber auch als Ausdruck von rezidivierenden Patellaluxationen diskutiert wird (71 – 74).

Bereits 1986 konnten Møller et al. einen Zusammenhang zwischen einem Patellahochstand und einer konsekutiven Inkongruenz im Patellofemoralgelenk nachweisen (75). Merchant

et al. und Laurin et al. untersuchten den Zusammenhang zwischen Patellaluxationen und der Kongruenz der Patella mit der Trochlea patellaris. Beide konnten beobachten, dass insbesondere das laterale Kniescheibenlager bei der stabilen Positionierung der Patella im Gleitlager eine wichtige Rolle spielt (14, 76). Bei weiblichen Personen konnte in der Vergangenheit häufiger ein Kniescheibenhochstand mit konsekutiver patellofemorale Instabilität beobachtet werden als bei männlichen Patienten (71).



Abbildung 3: Seitliches Röntgenbild eines Kniegelenkes eines 13-jährigen Patienten mit Morbus Osgood-Schlatter.

Darüber hinaus wird eine Patella alta von verschiedenen Autoren als eine der Ursachen für die Entstehung der retropatellaren Chondromalazie verantwortlich gemacht (72 – 77). Diese Erkenntnisse werden allerdings in der Literatur kontrovers diskutiert, da sich der Zusammenhang von Patellahochstand und Chondromalacia patellae nicht immer eindeutig

belegen lässt (78).

2.3. Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe

Zur Bestimmung der Patellahöhe existiert eine Vielzahl von Messmethoden. Hierbei können direkte Messmethoden, bei denen die Kniescheibenhöhe in Relation zum Femur bemessen wird von indirekten Messmethoden, bei denen die Kniescheibenhöhe in Relation zur Tibia gesetzt wird, unterschieden werden (79).

2.3.1. Direkte Messmethoden

Blumensaat beschrieb im Jahre 1938 als einer der Ersten eine Methode zur Bestimmung der Patellahöhe an seitlichen Knieröntgenaufnahmen in 30° Flexion (11). Das Dach der Fossa intercondylaris diente hierbei als Referenzlinie für die spätere Auswertung und wird bis heute in der Literatur als Blumensaat-Linie bezeichnet. Die Entfernung des unteren Patellapols von dieser Linie ausgehend wird in 30° Flexion bemessen. Nach der Definition Blumensaaits beträgt dieser Abstand beim gesunden Kniegelenk 0 cm, größere Distanzen werden als Patella alta identifiziert (11). Als Anderson diese Methode an 286 Röntgenaufnahmen nachuntersuchte, stellte er fest, dass nach den Maßstäben von Blumensaat, 207 Kniescheiben als Patella alta klassifiziert werden müssten. Daraus schloss er, dass die Grenze zum Patellahochstand auf 5mm über die Blumensaat Linie anzuheben ist (80). 1970 machte Brattström auf eventuelle Nachteile dieser Methode aufmerksam. Er postulierte, dass die Blumensaat Linie inkonstant zu sein scheint, da sie keinen einheitlichen Winkel mit der Längsachse des Femurs darstellt (81).

Aus diesem Grund modifizierten Sehayi et al. die Blumensaat-Methode, in dem sie diesen Winkel auf einheitliche 147° festlegten. Dieser Wert wurde nach Durchschnittswerten aus insgesamt 105 seitlichen Röntgenbildern von Kniegelenken definiert (12).

Eine weitere Messmethode zur Bestimmung der Patellahöhe entwickelte Hepp. Die Patellahöhe berechnet sich nach dieser Technik aus dem gefällten Lot vom oberen Patellapol auf die Blumensaat Linie (82). Jedoch beinhaltet auch diese Methode den Nachteil der individuell variierenden Blumensaat Linie, auf den Brattström aufmerksam machte (81).

Labelle et al. beschrieben eine Messmethode zur Bestimmung der Patellahöhe, die an seitlichen Röntgenaufnahmen in streng 90° flektiertem Kniegelenk durchgeführt wird. Im

Rahmen der Messung wird eine Tangente an die vordere Kortikalis des Femurs gelegt. Liegt der obere Pol der Patella bei 90° flektiertem Kniegelenk mehr als 5cm oberhalb dieser Linie, so spricht man von einer Patella alta. Die Methode ist technisch einfach anzuwenden und zeitsparend, jedoch kann insbesondere der Patellatiefstand nur vermutet, jedoch nicht zuverlässig diagnostiziert werden, da er im Rahmen der Originalpublikation nicht definiert wurde (13, 14).

Norman et al. bestimmten die Höhe der Patella bei voller Kniegelenkextension und maximaler Kontraktion des M. quadrizeps femoris. Bei dieser Messmethode fällt der Untersucher ein Lot vom unteren Pol der Patellagelenkfläche auf die Tangente der beiden Femurkondylen. Voraussetzung für valide Ergebnisse ist ein streng seitlicher Strahlengang im Röntgen um Messungenauigkeiten zu vermeiden. Diese Distanz wird in Relation zur Körpergröße gesetzt. Bei einer Patella norma sind nach den Angaben der Autoren Relationswerte zwischen 0,19 – 0,23 zu erwarten (15).

Auch Bernageau et al. bedienten sich zur Bestimmung der Patellahöhe seitlichen Röntgenbildern von Kniegelenken in vollständiger Extension. Nach dieser Methode wird die Entfernung des unteren Endes der Patellagelenkfläche zum obersten Punkt der Trochlea femoris bemessen (16).

Burgess berechnete die Patellahöhe aus dem Quotienten der Distanz des Lotes vom Mittelpunkt der Patellagelenkfläche auf das Tibiaplateau und dem Querschnitt der Femurkondylen. Ein großer Nachteil dieser Methode liegt darin, dass die Patellagröße individuell von Mensch zu Mensch variiert und der Durchmesser der Femurkondylen ebenfalls nicht konstant ist (17).

Eine der neuesten Techniken zur Bestimmung eines Patellahoch- oder Tiefstandes beschrieben Biedert und Albrecht (18). Die Autoren orientierten sich zur Bestimmung der Patellahöhe erstmals an Knorpel- statt Knochenstrukturen. Sie modifizierten die Technik von Bernageau et al. (16). Die Autoren definierten zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe einen Patellatrochlea-Index, welcher sich aus der Höhe der Patellagelenkfläche und der vertikalen Distanz zwischen dem oberen Punkt der Trochlea und dem unteren der Patellagelenkfläche berechnet. Zur Auswertung sind bei dieser Messmethode jedoch mehrere Untersucher notwendig, um die Gefahr von Messfehlern zu minimieren (18).

2.3.2. Indirekte Messmethoden

Der Index nach Insall und Salvati zur Bestimmung der Patellahöhe ist eine weit etablierte Methode (20). Die Autoren beurteilten 114 seitliche Röntgenaufnahmen von gesunden Kniegelenken in 20-70° Flexion. Nach dieser Messmethode wird die Patellahöhe aus dem Quotienten der Patellasehnenlänge (PS) und Patellalänge (PL) berechnet (PS/PL). Unter physiologischen Bedingungen liegt der Insall-Salvati-Index nach Angaben der Autoren zwischen 0,8 und 1,2. Höhere Werte definieren eine Patella alta, niedrigere eine Patella baja (20). Neben der zeitaufwendigen Messung zweier Strecken und einer konsekutiven Kalkulation ist ein weiterer Nachteil dieser Methode, dass der untere Patellapol radiologisch nicht immer klar zu identifizieren ist (83). Ebenso gibt es starke Varianten der Form der Tuberositas tibiae mit entsprechenden Schwierigkeiten der exakten Identifikation deren proximalstem Punkt.

Shabshin et al. überprüften die Anwendbarkeit dieser Messmethode in der kernspintomographischen Bildgebung (84). In dieser Studie lag der PS-PL-Quotient im Mittel bei 1,05. Eine Patella alta wurde ab Werten von 1,50 definiert, eine Patella baja unter 0,74. Des Weiteren konnte beobachtet werden, dass Frauen signifikant höhere Werte als Männer aufweisen (84).

Grelsamer und Meadows modifizierten die Messmethode nach Insall-Salvati, indem sie zur Bestimmung der Patellahöhe den Quotienten aus der Länge der Patellasehne (A) und ihrer Gelenkfläche (B) berechneten (25). Da insbesondere die untere Grenze der Patellagelenkfläche nicht selten nativradiologisch schwer zu identifizieren ist, können Messungenauigkeiten nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Diese Methode konnte sich in der Vergangenheit nicht adäquat durchsetzen (83, 85, 86).

Blackburne und Peel postulierten, dass die Höhe der Patella ebenso gut durch die Distanz vom unteren Pol der Patellagelenkfläche (A) auf die Horizontale des Tibiaplateaus und der Länge der Patellagelenkfläche (B) errechnet werden kann (21). In dieser Studie wurden insgesamt 269 seitliche Röntgenaufnahmen von Kniegelenken, die mehr als 30° gebeugt waren, ausgewertet. Die Autoren legten fest, dass der Quotient A:B unter physiologischen Bedingungen zwischen 0,8 und 1,0 beträgt und Werte >1,0 einen Patellahochstand, Werte <0,8 einen Patellatiefstand definieren (21). Diverse Autoren sprachen dieser Messmethode in der Vergangenheit die höchste Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit zu (83, 85).

Linclau entwickelte eine Messmethode, mit welcher die Patellahöhe aus dem Quotienten

(A:C) aus der Länge der Patellagelenkfläche (A) und der Distanz ihres unteren Pols zum ventralsten Rand des Tibiaplateau (C) errechnet werden konnte (22). Er postulierte, dass dieser Quotient in gesunden Kniegelenken 1,0 beträgt und von einer Flexion des Kniegelenkes zwischen 20 und 80° nicht beeinflusst wird. Referenzwerte für eine Patella norma wurden analog zu der Messmethode nach Insall und Salvati zwischen 0,8 und 1,2 definiert (22).

Da die Identifikation des ventralen Tibiaplateaus untersucherabhängig variieren kann, modifizierten De Carvalho et al. die Methode nach Linclau in einer Studie an 150 Röntgenaufnahmen, indem sie den Quotienten aus der Länge der Patellagelenkfläche und der kürzesten Entfernung des Tibiaplateaus zum unteren Pol der Patella berechneten (23). Nach dieser Messmethode sprechen Werte größer 1,11 für einen Patellahochstand (23). Die Autoren selbst sprachen dieser Messtechnik zur Bestimmung der Patellahöhe höchste Genauigkeit und einfachste Anwendbarkeit zu (23).

1988 wurde erstmals eine Messmethode beschrieben, bei welcher die Entfernung vom Mittelpunkt der Patellagelenkfläche zur Kondylenebene (M) bemessen wurde (24). Die Kondylenebene verläuft hierbei senkrecht zur mechanischen Achse der Tibia und schneidet den distalsten Punkt der Femurkondylen. Die mechanische Achse der Tibia stellt eine Verbindung vom Mittelpunkt des Tibiaplateaus zum Zentrum des oberen Sprunggelenks dar. Diese Entfernung wird in Bezug zur Körpergröße (H) und zur Länge der Tibia (TL) gesetzt. Die Patellahöhe berechnet sich aus dem Quotienten M:H und M:TL. Auch wenn sich diese Methode gut zur biomechanischen Analyse des Patellofemoralgelenkes eignet, hat sie sich aufgrund der aufwendigen Messungen und Kalkulation im klinischen Alltag nicht bewährt.

2.3.3. Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter

Micheli et al. befassten sich 1986 erstmals mit der Bestimmung der Patellahöhe bei Kindern und konstatierten, dass die bis dato beschriebenen Messmethoden nicht adäquat bei Kindern und Adoleszenten angewendet werden können (27). Als Grund hierfür wird die altersabhängige Ossifikation der Kniescheibe, die bei Mädchen mit 15 und bei Jungen erst mit 17 Jahren abgeschlossen ist, diskutiert (87). Für die Bestimmung der Patellhöhe nach Micheli werden Röntgenbilder im anterior-posterioren Strahlengang verwendet. Gemessen wird die Entfernung des oberen Patellapols zum Tibiaplateau (A) sowie die

Länge der Patella (B). Ist die Differenz dieser beiden Strecken (A-B) größer 0, liegt nach Angaben der Autoren ein Patellahochstand vor (27). Allerdings berücksichtigt diese Methode nicht das jeweilige Skelettalter des Patienten, wodurch physiologische Patellapositionen fälschlicherweise als Patella alta interpretiert werden können.

Eine weitere Methode, die sich zur Bestimmung der Patellahöhe bei Kindern etablierte, wurde von Koshino und Sugimoto publiziert (28). Sie untersuchten 59 Röntgenaufnahmen des seitlichen Kniegelenkes von insgesamt 36 Kindern in 0°, 30°, 60°, 90° und 120° Flexion. In dieser Studie wurden erstmals die Epiphysenfugen am wachsenden Skelett berücksichtigt. Das mittlere Patientenalter betrug 10,6 Jahre. Zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe werden Tangenten jeweils zur Epiphysenfuge der proximären Tibia, des distalen Femurs sowie zur Patella definiert. Anschließend wird der Quotient (E:F) aus der Distanz des Mittelpunkts der Patellalinie zum Mittelpunkt der Tibiaepiphysenfuge (E) und der Distanz der beiden Mittelpunkte der Epiphysenfugen von Femur und Tibia zueinander (F) berechnet (28). Dieser Quotient betrug in 30 bis 90° flektierten Kniegelenken 0,99 – 1,20 (28). In dieser Studie wurden bei insgesamt 3,4% der Probanden eine Patella alta diagnostiziert.

Walker et al. konstatierten später, dass bei Kindern mittels der Messmethode nach Koshino und Sugimoto oftmals falsch positive Ergebnisse beschrieben werden (87). Zudem ist die Methode nach Koshino und Sugimoto durch die zahlreichen radiologischen Landmarken und Kalkulationen sehr zeitaufwendig und technisch anspruchsvoll.

2.3.4. Die Methode nach Caton-Deschamps und der Plateau-Patella-Winkel

Die beiden Messmethoden nach Caton-Deschamps und der Plateau-Patella-Winkel haben sich in der Vergangenheit zur Bestimmung der Patellahöhe im klinischen Alltag besonders etabliert (29, 30). Diese Arbeiten sind für unsere Studie von besonderer Bedeutung. Ihnen soll daher ein gesondertes Kapitel gewidmet werden (siehe Kapitel 4.3.).

2.4. Altersbedingte Schwierigkeiten in der Bestimmung der Patellahöhe

Die Knochen- und Knorpelstrukturen im Bereich des Kniegelenks unterliegen während des Wachstums einem Wandel. Dieser Prozess vermag bei der Anwendung vieler bisher etablierter Messmethoden eine große Schwierigkeit bei der exakten Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter darzustellen. Durch die fehlende oder unvollständige

Ossifikation der knorpelig angelegten Strukturen erschwert sich oftmals die sichere Identifikation der radiologischen Landmarken, die für viele Messmethoden essentiell notwendig ist.

So wiesen Shin et al. darauf hin, dass aufgrund der nicht abgeschlossenen Ossifikation der Tuberositas tibiae sowie der Patella weder die Messmethode nach Insall und Salvati (20) noch die Methode nach Blackburne und Peel (21) bei Kindern zwischen 2 und 17 Jahren valide Ergebnisse liefern kann (88).

Park et al. untersuchten die Validität der Messmethoden nach Insall-Salvati und Blackburn-Peel im Kindes- und Jugendalter (89). Während in der Altersklasse der 11 bis 13-jährigen Probanden nur die Methode nach Blackburne-Peel valide Ergebnisse lieferte, zeigte sich in der Gruppe der 5 bis 11-Jährigen keine der beiden Messmethoden geeignet. Lediglich in der Gruppe der Adoleszenten (13 bis 18 Jahre) konnten mit beiden Messmethoden valide Ergebnisse erhoben werden (89).

So empfehlen einige Autoren (88, 89) zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe im Kindes- und Jugendalter die Anwendung der Messmethode nach Koshino-Sugimoto (28), da diese als einzige die Epiphysenfugen des wachsenden Skelettes berücksichtigt und somit von der noch unvollständigen Ossifikation einzelner knorpeligen Strukturen unbeeinflusst bleibt. Allerdings wiesen Shin et al. darauf hin (88), dass diese Methode lediglich bei 30 bis 90° flektierten Kniegelenken anwendbar ist und die Auswertung insbesondere bei vollständig gestreckten Kniegelenken keine valide Ergebnisse liefert (28).

Kar et al. untersuchten den Einfluss des Alters und des Geschlechts auf die Patellahöhe (90). Die Autoren konnten feststellen, dass die mittels Insall-Salvati Index erhobenen Messergebnisse im Erwachsenenalter höher, jedoch nicht signifikant höher als im Adoleszentenalter waren (90).

3. Zielsetzung der Arbeit

Es ist offensichtlich, dass sich bisher keine der beschriebenen Methoden als Goldstandard zur exakten Bestimmung der Patellahöhe durchsetzen konnte.

2011 stellten Portner und Pakzad ein neues Model zur Bestimmung der Patellahöhe als eine einfache und zeitsparende Alternativ zu den bisher etablierten Messmethoden vor (30). Die Messwerte sind einfach zu merken und die Methode ist unabhängig von radiologischen Vergrößerungsfaktoren. Der Vergleich dieser Technik mit den bisher etablierten Methoden nach Insall-Salvati (20), Blackburn-Peel (21) und Caton-Deschamps (29) zeigte bereits in der Vergangenheit eine hohe Korrelation der Messergebnisse untereinander sowie eine hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität in der Erwachsenenpopulation (30).

Nur wenige Studien beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Adolszentenalter (27, 28, 87, 91, 92). Nach der aktuellen Studienlage wird dem Caton-Deschamps-Index die höchste Reproduzierbarkeit in dieser Patientengruppe zugesprochen (92). Ob der Plateau-Patella-Winkel (PPA) auch im Kindes- und Jugendalter angewendet kann, ist bisher noch unklar.

Somit war es Ziel der hier vorgestellten retrospektiven Querschnittsstudie zu untersuchen, ob die neue Messmethode nach Portner und Pakzad ebenso valide Ergebnisse zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe im Kindes- und Adolsezentenalter liefern kann und ob diese Messmethode mit den bisher etablierten Messtechniken adäquat korreliert.

4. Material und Methodik

4.1. Patienten

Für die vorliegende Arbeit wurden aus dem klinikinternen Computersystem (C21 SAP Produktivsystem) des Universitätsklinikum des Saarlandes die Daten aller Patienten unter 18 Jahre erhoben, bei denen in dem Zeitraum vom 01.03.2010 bis zum 01.11.2011 in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie seitliche Röntgenaufnahmen des rechten oder linken Kniegelenkes angefertigt wurden. Insgesamt wurden 22 Röntgenaufnahmen von Jungen und 24 von Mädchen ausgewertet. Das Durchschnittsalter der Patienten lag bei 12,4 ($\pm 1,8$) Jahren. Ein 3-jähriger männlicher Patient musste aufgrund der nativradiologisch noch nicht darstellbaren Patella von der Studie ausgeschlossen werden. 28 Röntgenbilder zeigten das linke, 18 Aufnahmen das rechte Kniegelenk (Abb. 4).

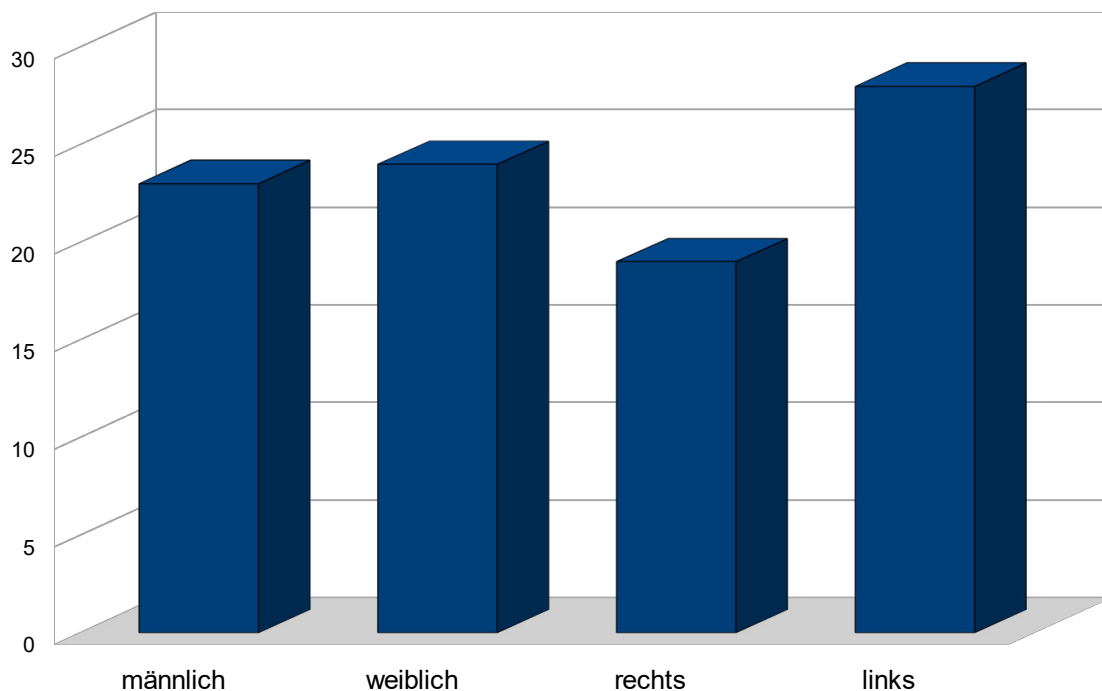


Abbildung 4: Geschlechts- und Seitenverteilung der Röntgenaufnahmen.

4.2. Röntgen

4.2.1. Röntgenindikation

Die häufigste Indikation zur Röntgendiagnostik war im Rahmen der postoperativen Nachsorge nach temporärer Wachstumslenkung mittels Achterplatte, Gefolgt von Aufnahmen aufgrund habitueller Patellaluxationen. Als dritthäufigster Grund waren Traumata wie traumatische Patellaluxation und Kniegelenksdistorsion der Anlass zur Röntgendiagnostik. Insgesamt 6 Röntgenaufnahmen wurden anlässlich einer Morbus Osgood-Schlatter Diagnostik und Verlaufskontrolle angefertigt und 4 aufgrund der genauen Diagnostik eines Genu valgum.

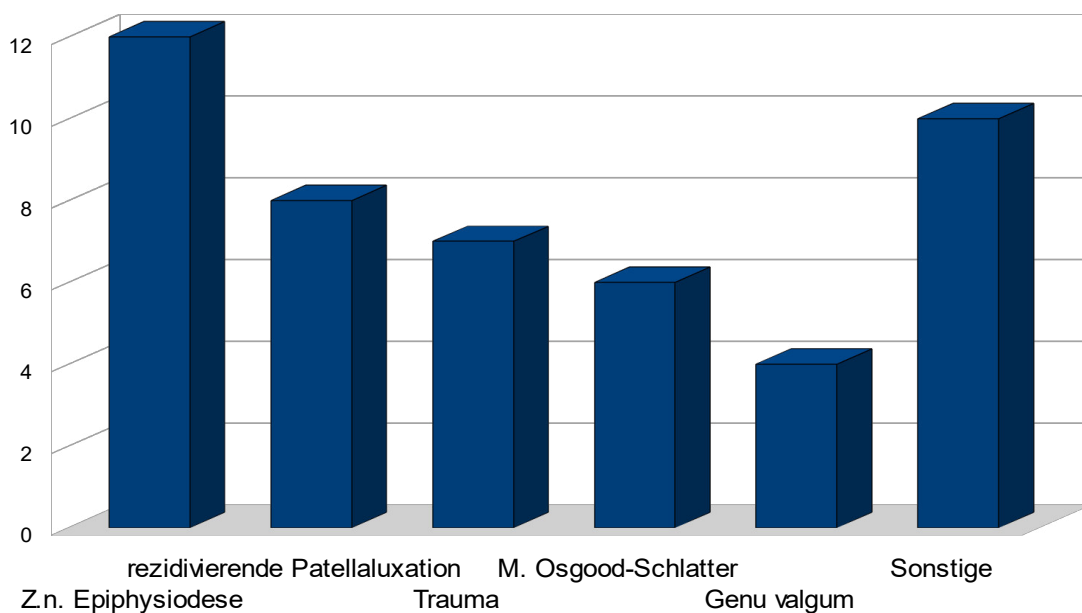


Abbildung 5: Darstellung der verschiedenen Röntgenindikationen.

Weitere Indikationen waren Verlaufskontrollen bei Beinlängendifferenz, patellofemorales Schmerzsyndrom, eine Coxitis im Rahmen der differentialdiagnostischen Abklärung, die postoperative Verlaufskontrolle nach einer Plastik des vorderen Kreuzbandes sowie einer Adduktorenverlängerung (Abb. 5).

4.2.2. Röntgenabteilung

Hinsichtlich der Bildqualität bestanden bei den verwendeten Röntgenapparaten (Philips Healthcare 2010 und Varian Medical Systems 2011) keinerlei Unterschiede. Das Gerät von Philips wurde 2010 erbaut und hat ein ROT 350TM Gehäuse mit einer Drehanoden Röntgenröhre vom Typ SRO 2550 (Modellnummer Röhre 9806 206 1102, Modellnummer Gehäuse 9890 000 85831). Der permanente Strahlenfilter der Anlage beträgt 2,5 Al/75, die normale Spannung der Anode 150 kV.

Der Röntgenapparat von Varian Medical Systems wurde 2011 erbaut und beinhaltet ein ROT 350TM Gehäuse. Die Röntgenröhre ist vom Typ RAD-34 und ihre Drehanode hat eine Spannung von 150 kV. Der permanente Strahlenfilter dieses Geräts liegt bei 0,7Al/75. Aufgrund ihrer technischen Leistungsfähigkeit liegen die Anwendungsgebiete dieser Röntgenapparate in der allgemeinen Röntgenaufnahmetechnik.

4.2.3. Anfertigung der Röntgenaufnahmen

Die seitliche Röntgenaufnahme des Kniegelenkes ist eine standardisierte Aufnahme, die im klinischen Alltag in der Klinik für Orthopädie und Orthopädischer Chirurgie täglich angefertigt wird. Um eine hohe Reproduzierbarkeit zu erreichen, erfolgt die Durchführung der Röntgenaufnahme stets mittels standardisierter Einstelltechnik. Die Aufnahmen werden stets durch staatlich geprüfte Medizinisch Technische Radiologieassistenten (MTA) angefertigt.

Die betreffende Extremität wird hierzu dem Röntgentisch streng seitlich aufliegend gelagert. Hüfte und Knie werden soweit flektiert bis sich das Kniegelenk in der Tischmitte befindet. Hierbei wird das zu untersuchende Kniegelenk in 30-45° Flexion angewinkelt, der Winkelgrad wird mit Hilfe eines Goniometers eingestellt. Nach Zentrierung des Kniegelenks in den Strahlengang erfolgt die standardisierte Aufnahme mit einem Abstand zur Röntgenapparatur von 1,10 m.

4.2.4. Röntgenfilmbetrachter

Zur Auswertung der Röntgenbilder wurde von beiden Untersuchern standardisiert derselbe PLANILUX Röntgenfilmbetrachter vom Typ LJ-S (Nr. 86/61378, 220 V, 50 Hz, 1,9 A, 210 W, Größe 43 x 105 cm) der Firma Siemens verwendet. Die ordnungsgemäße Funktion des Geräts unterliegt der regelmäßigen Wartung des Filmbetrachters gemäß BGV A2 und BGV

A3.

4.3. Messmethoden

Die Messmethode nach Caton-Deschamps hat sich in der Vergangenheit zur Bestimmung der Patellahöhe im Erwachsenenalter im klinischen Alltag besonders gut etabliert (29). Thévenin-Lemoine et al. schrieben dem Caton-Deschamps-Index auch bei der Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter die höchste Reproduzierbarkeit zu (92). Somit diente uns diese Messtechnik in der hier vorgestellten Arbeit als Referenzmethode.



Abbildung 6: Zur Bestimmung der Patellahöhe mittels Caton-Deschamps Index wird die Strecke aus unterem Pol der Patellagelenkfläche bis zum ventralsten Punkt des Tibiaplateaus (B) durch die Länge der Patellagelenkfläche (A) dividiert (B/A) (29).

4.3.1. Methode nach Caton-Deschamps

1982 entwickelten Caton et al eine Messmethode zur Bestimmung der Patellahöhe, die sich bis heute bei der Bestimmung der Kniescheibenhöhe im Kindes- und Adolszentenalter sehr gut etabliert hat (29, 92). In dieser Arbeit wurden insgesamt 128 seitliche Röntgenbilder von Kniegelenken ausgewertet, die in 10-80° Flexion angefertigt wurden (29). 70 Röntgenaufnahmen stammten von männlichen und 58 von weiblichen Patienten. Das mittlere Patientenalter betrug 36 Jahre. Bei dieser indirekten Messmethode wird die Lage der Patella in Relation zur Tibia bemessen. Ermittelt wird die Distanz aus unterem Pol der Patellagelenkfläche bis zum ventralsten Punkt des Tibiaplateaus und anschließend durch die Länge der Patellagelenkfläche dividiert (Abb. 6). Ein Index zwischen 0,6-1,3 diagnostiziert nach Angaben der Autoren eine Patella norma. Werte über 1,3 definieren eine Patella alta, unter 0,6 eine Patella baja (29).

4.3.2. Plateau-Patella-Winkel nach Portner und Pakzad

Bei der im Jahre 2011 von Portner und Pakzad entwickelten Messmethode wird eine einfache Winkelmessung zwischen der Tangente des Tibiaplateaus und der Verbindungslinie aus dem dorsalsten Punkt des Tibiaplateaus zum Unterrand der patellaren Gelenkfläche bestimmt (30) (Abb. 7). Zur Etablierung dieser Technik wurden 269 seitliche Röntgenaufnahmen untersucht. 156 Röntgenaufnahmen stammten von männlichen und 113 von weiblichen Patienten. Die Aufnahmen erfolgten im seitlichen Strahlengang mit einer Kniegelenkflexion größer 30°. Nach Angaben der Autoren definiert ein gemessener Winkel zwischen 20° und 30° eine Patella norma, unter 20° eine Patella baja und über 30° eine Patella alta (30). Die Autoren konnten in der statistischen Auswertung eine hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität sowie eine hohe Korrelation der Ergebnisse mit den bisher etablierten Methoden nach Insall-Salvati, Blackburne-Peel und Caton-Deschamps nachweisen (30).

4.4. Studienprotokoll

Die Bestimmung der Patellahöhe erfolgte durch zwei Untersucher (Untersucher 1: erfahren, Assistenzärztin im 5 Ausbildungsjahr. Untersucher 2: unerfahren, Student im 5 Studienjahr) zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten jeweils mit der Methode nach Portner und Pakzad sowie nach Caton-Deschamps. Der Abstand der beiden Messungen zueinander

betrug drei Monate (Abb. 8). Neben der Betrachtung des Gesamtkollektivs erfolgte die Unterteilung in die Subgruppen Seite, Geschlecht und Alter der Patienten.



Abbildung 7: Zur Bestimmung der Patellahöhe mittels Plateau-Patella Winkel erfolgt eine Winkelmessung zwischen der Tangente des Tibiaplateaus (B) und der Verbindungslinie aus dem dorsalsten Punkt des Tibiaplateaus zum Unterrand der patellaren Gelenkfläche (A) (30).

4.5. Statistik

Die statistische Auswertung der Daten wurde in Zusammenarbeit mit dem Institut für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik der Universität des Saarlandes unter Zuhilfenahme der Software IBM SPSS (Statistics Version 21)

durchgeführt.

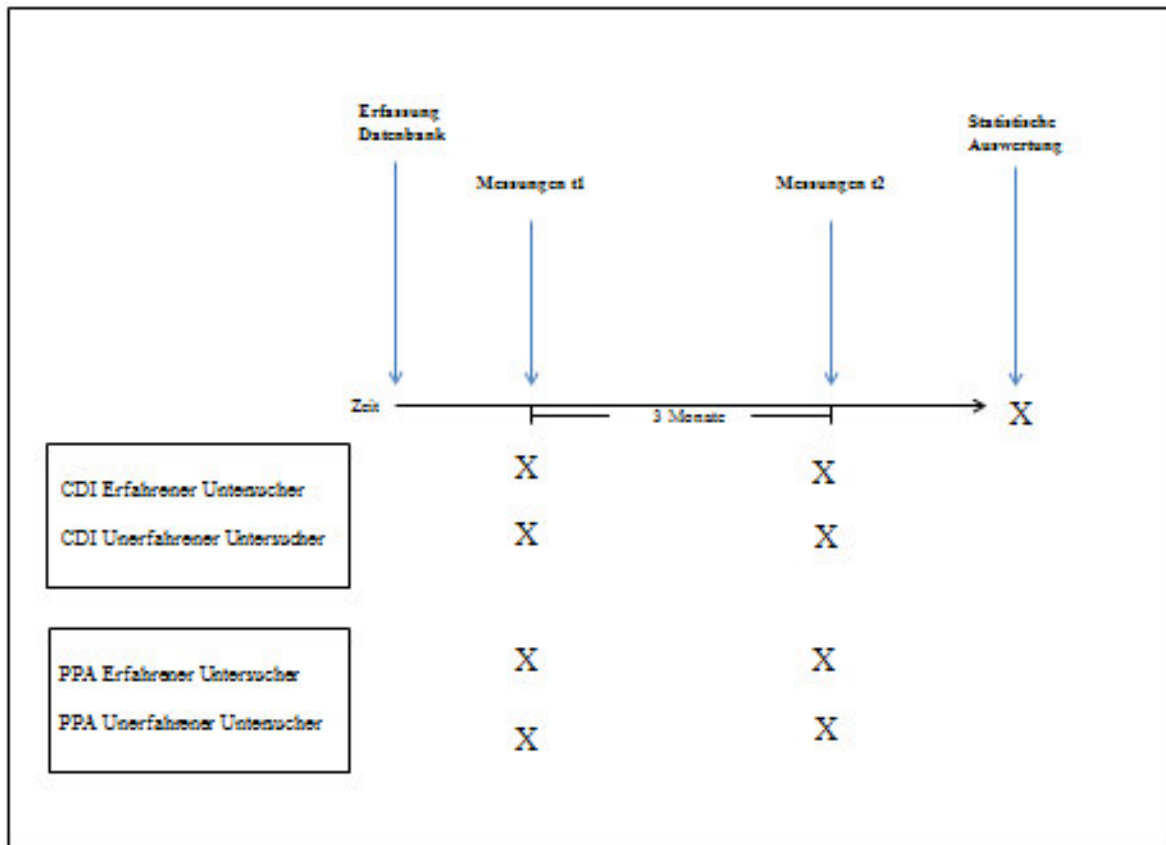


Abbildung 8: Schematische Übersicht über das Studienprotokoll. Die Auswertungen erfolgten durch beide Untersucher jeweils mittels Caton-Deschamps Index (CDI) sowie PPA Plateau Patella Winkel (PPA) zu zwei verschiedenen Zeitpunkten mit einem Abstand von 3 Monaten zueinander.

Nach Prüfung der Daten auf Normalverteilung mittels Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest (93) erfolgte der Vergleich der Messergebnisse hinsichtlich der Inter- und Intraobserver Reliabilität mittels Intraklassenkorrelation. Zur Überprüfung der Korrelation der einzelnen Messmethoden untereinander wurde die Pearson-Korrelation angewendet.

Um die statistische Signifikanz der ermittelten Ergebnisse zu überprüfen, wurde der t-Test verwendet. Unterschiede mit einem $p < 0,05$ wurden als signifikant angesehen und in den zuvor erstellten Tabellen entsprechend gekennzeichnet. Der Vergleich der Sensivität und

Spezifität der beiden Messmethoden in der klinischen Praxis erfolgte mittels Kontingenzanalyse.

5. Ergebnisse

5.1. Studienpatienten, demographische Daten und Ausgangswerte

Der Caton-Deschamps Index betrug zum ersten Auswertungszeitpunkt bei Untersucher 1 1,13 und 1,15 bei Untersucher 2. Der Plateau-Patella Winkel war 29,07° für Beobachter 1 und 28,6° für den zweiten Beobachter.

Die Tabellen 1 und 2 zeigen einen Überblick über die Probanden, die demographischen Daten sowie die Messergebnisse in der Gesamtpopulation (Tbl. 1) sowie in den einzelnen Untergruppen (Tbl. 2).

	Mittelwerte	Standardabweichung	Reichweite
Alter (a)	12,4	1,8	8 bis 16
Geschlecht (♂,♀)	22:24 (47,8% : 52,2%)		
Seite (links, rechts)	18:28 (39,13% : 60,87%)		
PPA Untersucher 1	29,07	5,04	18 bis 44
PPA Untersucher 2	28,6	5,35	18 bis 44
CDI Untersucher 1	1,13	0,24	0,75 bis 2,5
CDI Untersucher 2	1,15	0,18	0,81 bis 2,03

Tabelle 1: Überblick über die demographischen Daten und Messergebnisse zum ersten Untersuchungszeitpunkt in der Gesamtpopulation. PPA = Plateau-Patella Winkel, CDI = Caton-Deschamps Index.

	Mittelwerte [MIN - MAX]	Standardabweichung
≤ 12 Jahre (n=42)		
PPA Untersucher 1	28,52 [18-39]	4,65

	Mittelwerte [MIN - MAX]	Standardabweichung
≤ 12 Jahre (n=42)		
PPA Untersucher 2	27,74 [18-42]	5,04
CDI Untersucher 1	1,1 [0,75-1,74]	0,2
CDI Untersucher 2	1,1 [0,81-1,58]	0,14
>12 Jahre (n=50)		
PPA Untersucher1	29,52 [20-42]	5,36
PPA Untersucher 2	29,32 [20-44]	5,42
CDI Untersucher 1	1,14 [0,89-2,5]	0,27
CDI Untersucher 2	1,18 [0,93-2,03]	0,2
Männlich (n=44)		
PPA Untersucher1	29,82 [20-42]	5,86
PPA Untersucher 2	29,32 [21-44]	5,81
CDI Untersucher 1	1,18 [0,88-2,5]	0,29
CDI Untersucher 2	1,19 [0,93-2,03]	0,2
Weiblich (n=48)		
PPA Untersucher 1	28,38 [18-37]	4,1
PPA Untersucher 2	27,94 [18-36]	4,71
CDI Untersucher 1	1,07 [0,75-1,74]	0,17
CDI Untersucher 2	1,1 [0,81-1,58]	0,15
Rechte Seite (n=36)		
PPA Untersucher1	29,79 [22-41]	4,51
PPA Untersucher 2	29,29 [20-42]	5,32
CDI Untersucher 1	1,14 [0,88-1,54]	0,17
CDI Untersucher 2	1,15 [0,94-1,58]	0,2

	Mittelwerte [MIN - MAX]	Standardabweichung
Linke Seite (n=56)		
PPA Untersucher1	28,64 [18-42]	5,28
PPA Untersucher 2	28,19 [18-44]	5,26
CDI Untersucher 1	1,11 [0,75-2,5]	0,28
CDI Untersucher 2	1,14 [0,81-2,03]	0,2

Tabelle 2: Überblick über die demographischen Daten und Messergebnisse zum ersten Untersuchungszeitpunkt in den Untergruppen Patientenalter, Geschlecht und Seite des untersuchten Kniegelenkes. PPA = Plateau-Patella Winkel, CDI = Caton-Deschamps Index. n = Anzahl der Messungen.

5.2. Klinische Bedeutung

In der hier vorliegenden Studie wurden mittels Plateau-Patella Winkel 119 Patellae normae, 61 Patellae altae und in 4 Fällen eine Patella baja diagnostiziert. Dahingegen wurden nach der Messmethode nach Caton-Deschamps 161 Kniescheiben als normal, 23 als zu hoch und keine als Patella baja identifiziert.

In der Annahme, dass die Messtechnik nach Caton-Deschamps der Goldstandard zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter dient (92), betrug die Sensivität des PPA 74% mit einer Spezifität von 70%. Insgesamt wurden mittels der Messtechnik nach Portner und Pakzad 42 mehr pathologische Kniescheibenpositionen diagnostiziert als mittels der bisher etablierten Methode nach Caton-Deschamps (Tbl. 3).

Die Sensivität und Spezifität des Plateau-Patella-Winkels war unabhängig von den beiden Untersuchern sehr hoch. Durch Untersucher 1 konnten eine Sensitivität von 69% und eine Spezifität von 71% nachgewiesen werden, durch Untersucher 2 eine Sensitivität 80% mit einer Spezifität von 70% (Tbl. 4 und 5).

		CDI		
		normal (0,6 – 1,3)	erhöht/erniedrigt (<0,6; >1,3)	
PPA	normal (20 – 30)	113	6	119
	erhöht/erniedrigt (<20; >30)	48	17	65
		161	23	184

Sensitivität	$100 / 23 * 17 = 73,91$
Spezifität	$100 / 161 * 113 = 70,19$

Tabelle 3: Vierfeldertafel zur Bestimmung der Sensivität und Spezifität des Plateau-Patella Winkels in Gesamtschau der Messungen beider Untersucher. PPA=Plateau-Patella Winkel, CDI=Caton-Deschamps Index.

		CDI		
		normal (0,6 – 1,3)	erhöht/erniedrigt (<0,6; >1,3)	
PPA	normal (20 – 30)	56	4	60
	erhöht/erniedrigt (<20; >30)	23	9	32
		79	13	92

Sensitivität	$100 / 13 * 9 = 69,23$
Spezifität	$100 / 79 * 56 = 70,89$

Tabelle 4: Vierfeldertafel zur Bestimmung der Sensivität und Spezifität des Plateau-Patella Winkels in Gesamtschau der Messungen von Untersucher 1. PPA=Plateau-Patella Winkel, CDI=Caton-Deschamps Index.

		CDI		
		normal (0,6 – 1,3)	erhöht/erniedrigt (<0,6; >1,3)	
PPA	normal (20 – 30)	57	2	59
	erhöht/erniedrigt (<20; >30)	25	8	33
		82	10	92

Sensitivität	$100 / 10 * 8 = 80$
Spezifität	$100 / 82 * 57 = 69,51$

Tabelle 5: Vierfeldertafel zur Bestimmung der Sensivität und Spezifität des Plateau-Patella Winkels in Gesamtschau der Messungen von Untersucher 2. PPA=Plateau-Patella Winkel, CDI=Caton-Deschamps Index.

5.3. Verteilung der Messergebnisse

Wendet man den Kolmogorow-Smirnow-Anpassungstest auf die erhobenen Messwerte an, betrug der p-Wert im Mittel bei beiden Untersuchern hinsichtlich des Plateau-Patella Winkels 0,434 und für den Caton-Deschamps-Index 0,584. Bei Untersucher 1 lag der p-Wert beim PPA bei 0,476 und beim CDI 0,378. Untersucher 2 erzielte einen beim PPA einen p-Wert von 0,654 und beim CDI von 0,519, wodurch eine Normalverteilung der Daten bei beiden Untersuchern angenommen werden kann (Tbl. 6).

	p-Wert	
	PPA	CDI
Gesamtkollektiv	0,434	0,584
Untersucher 1	0,476	0,378
Untersucher 2	0,654	0,519

Tabelle 6: Übersicht über die ermittelten p-Werte zur Prüfung der Daten auf Normalverteilung.

5.4. Korrelation der Untersuchungszeitpunkte

Zur Analyse der Korrelation der Messwerte, die von den jeweiligen Untersuchern zu den unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten erhoben wurden, diente die Intra-Klassen-Korrelation. Das ermittelte Maß - der Intraklassen-Korrelationskoeffizient (ICC) - ermöglichte die Vergleichbarkeit der Messwerte zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten zueinander. Hierbei konnte die Intraobserver-Reliabilität an der Höhe des ICC bestimmt werden. Die Interobserver-Reliabilität wurde durch die Differenz der ICC-Werte der beiden Untersucher zueinander bestimmt. Der ICC setzt eine Intervallskalierung der Daten voraus und kann Werte zwischen -1 und +1 annehmen, wobei Werte +1 einer sehr hohen Korrelation entsprechen, Werte nahe 0 eine Korrelation ausschließen und Werte -1 eine umgekehrte Korrelation bedeuten. Die Überprüfung auf Signifikanz dieser Korrelationen erfolgte jeweils mittels t-Tests.

Es konnte für beide Untersucher für die mittels Plateau-Patella Winkel erhobenen Messwerte eine hohe Intraobserver Reliabilität mit einer Intraklassenkorrelation von 0,87 (95% Konfidenzintervall 0,78-0,93) nachgewiesen werden. Hinsichtlich des Caton-Deschamps Index zeigte sich ebenfalls eine hohe Intraklassenkorrelation von 0,83 (95 % Konfidenzintervall 0,72 – 0,9) für Untersucher 1 ($p < 0,01$) und 0,78 (95 % Konfidenzintervall 0,63-0,87) für Untersucher 2 ($p < 0,01$). Für beide Messmethoden zeigte sich zudem eine signifikante Interobserver Reliabilität ($p < 0,05$).

Gleiche Ergebnisse konnten auch in den einzelnen Subgruppen beobachtet werden. In der Gruppe der Patienten, die zum Untersuchungszeitpunkt 12 Jahre oder jünger waren betrugen die Intraklassenkorrelationen bei Untersucher 1 0,84 (95%-Konfidenzintervall 0,65 – 0,93) für den PPA und 0,67 (95%-Konfidenzintervall 0,36 – 0,85) für den CDI. Bei Untersucher 2 lag die Intra-Klassen-Korrelation für den PPA bei 0,86 (95%-Konfidenzintervall 0,69 – 0,94) und 0,63 (95%-Konfidenzintervall 0,29 – 0,83) für den CDI. Bei den Patienten, die zum Untersuchungszeitpunkt älter als 12 Jahre waren, zeigten sich nahezu gleichwertige Intraklassenkorrelationen hinsichtlich des PPA bei Untersucher 1 0,89 (95%-Konfidenzintervall 0,77 – 0,95) und bei Untersucher 2 0,88 (95%-Konfidenzintervall 0,74 – 0,95). Die Intra-Klassen-Korrelation des CDI lag bei Untersucher 1 bei 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,82 – 0,96) und bei Untersucher 2 bei 0,83 (95%-Konfidenzintervall 0,65 – 0,92).

In der Gruppe der männlichen Probanden konnte ebenfalls eine signifikant hohe

Intraklassenkorrelation hinsichtlich der beiden Untersuchungszeitpunkte für beide Messmethoden beobachtet werden. Der ICC des PPA lag bei Untersucher 1 bei 0,93 (95%-Konfidenzintervall 0,85 – 0,97) und bei Untersucher 2 bei 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,83 – 0,97). Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient hinsichtlich des CDI war bei Untersucher 1 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,81 – 0,96) und bei Untersucher 2 0,9 (95%-Konfidenzintervall 0,78 – 0,96).

Nahezu gleiche Ergebnisse konnten in der Gruppe der weiblichen Patienten erhoben werden. Der ICC für den PPA lag bei Untersucher 1 bei 0,75 (95%-Konfidenzintervall 0,49 – 0,88) und bei Untersucher 2 bei 0,8 (95%-Konfidenzintervall 0,59 – 0,91). Für den CDI konnte bei Untersucher 1 eine Intraklassenkorrelation von 0,6 (95%-Konfidenzintervall 0,27 – 0,8) und bei Untersucher 2 von 0,55 (95%-Konfidenzintervall 0,21 – 0,77) beobachtet werden.

Auch bei der Analyse des ICC's der Messungen des rechten Kniegelenkes zeigten sich bei beiden Untersuchern hohe Korrelationen für den PPA (Untersucher 1 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,78 – 0,97); Untersucher 2 0,89 (95%-Konfidenzintervall 0,71 – 0,96)). Bei den Messungen mittels CDI war der ICC in dieser Gruppe ebenfalls bei beiden Untersuchern sehr hoch (Untersucher 1 0,84 (95%-Konfidenzintervall 0,62 – 0,94); Untersucher 2 0,59 (95%-Konfidenzintervall 0,15 – 0,83)).

Bei der Analyse der Messwerte der Röntgenaufnahmen des linken Kniegelenkes zeigte sich für den PPA bei Untersucher 1 ein ICC von 0,85 (95%-Konfidenzintervall 0,71 – 0,93) und bei Untersucher 2 0,86 (95%-Konfidenzintervall 0,73 – 0,93), für den CDI bei Untersucher 1 bei 0,83 (95%-Konfidenzintervall 0,68 – 0,92) und bei Untersucher 2 bei ebenfalls 0,83 (95%-Konfidenzintervall 0,67 – 0,92).

Sowohl in der Gesamtpopulation als auch bei der Betrachtung der Messergebnisse in den einzelnen Subgruppen konnte eine signifikante Intra- und Interobserver-Reliabilität der beiden Messmethoden demonstriert werden ($p < 0,01$).

Tabelle 7 zeigte einen Überblick über die Intraklassenkorrelationen und deren statistische Signifikanz in der Gesamtpopulation sowie in den Subgruppen Alter, Geschlecht und Seite des Kniegelenkes (Tbl. 7).

	Wert Zeitpunkt 1	Wert Zeitpunkt 2	Intra- klassen- korrelation	95%- Konfidenz- intervall	p-Wert
Gesamt (n=46)					
Untersucher 1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,87	0,78 – 0,93	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,87	0,78 – 0,93	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,83	0,72 – 0,9	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,78	0,63 – 0,87	<0,01
≤ 12 Jahre (n=20)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,84	0,65 – 0,93	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,86	0,69 – 0,94	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,67	0,36 – 0,85	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,63	0,29 – 0,83	<0,01
>12 Jahre (n=26)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,89	0,77 – 0,95	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,88	0,74 – 0,95	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,92	0,82 – 0,96	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,83	0,65 – 0,92	<0,01
Männlich (n=22)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,93	0,85 – 0,97	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,92	0,83 – 0,97	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,92	0,81 – 0,96	<0,01

	Wert Zeitpunkt 1	Wert Zeitpunkt 2	Intra- klassen- korrelation	95%- Konfidenz- intervall	p-Wert
Männlich (n=22)					
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,9	0,78 – 0,96	<0,01
Weiblich (n=24)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,75	0,49 – 0,88	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,8	0,59 – 0,91	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,6	0,27 – 0,8	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,55	0,21 – 0,77	<0,01
Rechte Seite (n=18)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,92	0,78 – 0,97	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,89	0,71 – 0,96	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,84	0,62 – 0,94	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,59	0,15 – 0,83	<0,01
Linke Seite (n=28)					
Untersucher1	PPA (t1)	PPA (t2)	0,85	0,71 – 0,93	<0,01
Untersucher 2	PPA (t1)	PPA (t2)	0,86	0,73 – 0,93	<0,01
Untersucher 1	CDI (t1)	CDI (t2)	0,83	0,68 – 0,92	<0,01
Untersucher 2	CDI (t1)	CDI (t2)	0,83	0,67 – 0,92	<0,01

Tabelle 7: Intra- und Interobserver Reliabilität in der Gesamtpopulation sowie in den Subgruppen Patientenalter, Geschlecht und Seite des untersuchten Kniegelenkes. PPA = Plateau-Patella angle, CDI = Caton-Deschamps Index, t1 = Untersuchungszeitpunkt 1, t2 = Untersuchungszeitpunkt 2.

5.5. Korrelation der Untersuchungsmethoden

Zur Überprüfung der Korrelation der beiden Messmethoden CDI und PPA untereinander wurde der Pearson-Korrelationskoeffizient als Maß für eine lineare Beziehung zweier Variablen angewendet. Der dimensionslose Pearson-Koeffizient kann hierbei Werte von +1 (positive Korrelation) bis -1 (negative Korrelation) annehmen. Das Signifikanzniveau der Korrelation wurde mit Hilfe des t-Tests bestimmt.

Zwischen den beiden Messmethoden nach Caton-Deschamps und Portner und Pakzad konnte eine signifikant hohe Korrelation nachgewiesen werden (Tbl. 8). Zum ersten Auswertungszeitpunkt lag der Pearson-Korrelationskoeffizient bei Untersucher 1 bei 0,704 und bei Untersucher 2 bei 0,422. Auch zum zweiten Untersuchungszeitpunkt zeigte sich für beide Untersucher eine signifikant hohe Korrelation (Untersucher 1 0,532; Untersucher 2 0,511) der beiden Messmethoden in der Gesamtpopulation.

Bei Betrachtung der Korrelationen der Messtechniken in den einzelnen Subgruppen Alter, Geschlecht und Seite des untersuchten Kniegelenkes konnten gewisse Abweichungen festgestellt werden. Lediglich in den Untergruppen der Patienten, die 12 Jahre und jünger waren, in der Gruppe der männlichen Probanden und bei der Auswertung der Korrelationen der Messtechniken der linken Kniegelenkeseite konnten durch beide Untersucher durchgehend eine signifikante Korrelation der beiden Methoden beobachtet werden. Tabelle 8 zeigt einen Überblick über die einzelnen Pearson-Korrelationen der Untersuchungstechniken beider Untersucher in der Gesamtpopulation sowie in den einzelnen Subgruppen mit dem entsprechenden Signifikanzniveau (Tbl. 8).

	Messmethode 1	Messmethode 2	Pearson-Korrelation	p-Wert
Gesamt (n=46)				
Untersucher 1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,704	<0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,422	0,003
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,532	<0,001
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,511	<0,001

	Messmethode 1	Messmethode 2	Pearson-Korrelation	p-Wert
≤ 12 Jahre (n=20)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,774	<0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,529	0,014
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,535	0,012
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,492	0,023
>12 Jahre (n=26)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,665	<0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,354	0,082
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,518	0,008
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,502	0,011
Männlich (n=22)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,674	0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,521	0,013
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,593	0,004
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,441	0,04
Weiblich (n=24)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,751	<0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,263	0,215
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,348	0,095
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,572	0,003
Rechte Seite (n=18)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,682	0,003
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,556	0,021
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,422	0,092

	Messmethode 1	Messmethode 2	Pearson-Korrelation	p-Wert
Rechte Seite (n=18)				
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,56	0,019
Linke Seite (n=28)				
Untersucher1	PPA (t1)	CDI (t1)	0,731	<0,001
Untersucher 2	PPA (t1)	CDI (t1)	0,413	0,026
Untersucher 1	PPA (t2)	CDI (t2)	0,565	0,001
Untersucher 2	PPA (t2)	CDI (t2)	0,491	0,007

Tabelle 8: Pearson-Korrelationen beider Untersucher in der Gesamtpopulation und in den Subgruppen Patientenalter, Geschlecht und Seite des untersuchten Kniegelenkes. PPA=Plateau-Patella angle, CDI=Caton-Deschamps Index, t1= Auswertungszeitpunkt 1, t2= Auswertungszeitpunkt 2.

6.Diskussion

6.1. Aufbau der Studie

6.1.1. Studiendesign

Bei der vorliegenden Studie handelt es sich um eine nicht-interventionelle Studie. Sie wird als retrospektive Kohortenstudie definiert. Dieses Studiendesign wurde in der Vergangenheit bereits von anderen Autoren gewählt, um die Anwendbarkeit des PPA in einer ausgewählten Patientenpopulation zu untersuchen und hat sich bei der Gewinnung valider Ergebnisse gut bewährt (94, 95).

6.1.2. Studienpopulation

Die hier vorliegende Studie schließt die Daten von Messungen aus 46 Röntgenaufnahmen des Kniegelenkes ein, welche von insgesamt 36 Patienten stammen. Zum Untersuchungszeitpunkt waren die Patienten im Durchschnitt 12,4 Jahre alt, was eine gute Repräsentation der adoleszenten Patientenpopulation darzustellen vermag. Die Kinder wurden alle zwischen März 2010 und Oktober 2011 in der Röntgenabteilung der Klinik für Orthopädie und orthopädische Chirurgie der Universität des Saarlandes radiologisch untersucht. Hierbei wurde keine Selektion bezüglich der Röntgenindikation, des Geschlechts oder der Kniegelenksseite vorgenommen. Lediglich ein Patient musste von der Studie ausgeschlossen werden, da die Patella altersbedingt nativradiologisch nicht darstellbar war. Durch diese zufällige Verteilung des Patientenkollektivs kann von einer guten Reproduzierbarkeit unserer Ergebnisse ausgegangen werden.

6.1.3. Studienablauf

Ziel der Studie war es zu untersuchen, ob der PPA zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter ebenso valide Ergebnisse liefert wie die bisher etablierte Messmethode nach Caton-Deschamps. Um die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu untersuchen, wurden die Messungen von zwei verschiedenen Untersuchern an jeweils zwei unterschiedlichen Zeitpunkten im Abstand von mehreren Wochen durchgeführt. Durch den unterschiedlichen Erfahrungsgrad der beiden Untersucher bei der Auswertung von Röntgenbildern konnte die Validität der Ergebnisse noch zusätzlich erhöht werden. Alle Auswertungen erfolgen unabhängig voneinander. Dieses Verfahren hat sich in

vorangehenden Studien bereits außerordentlich bewährt (30, 92, 94, 95). Die Auswertung der Röntgenbilder erfolgte zu beiden Zeitpunkten und durch beide Untersucher an regelmäßig gewarteten und identischen Röntgenfilmbetrachtern, um möglichst standardisierte Untersuchungsbedingungen zu gewährleisten.

6.2. Untersuchungsmethoden

6.2.1. Bildgebung

Die in dieser Studie verwendeten Röntgenbilder wurden unter streng standardisierten Bedingungen durch examinierte Medizinische technische Radiologieassistenten durchgeführt. Störfaktoren auf dem Boden unterschiedlicher radiologischer Einstelltechniken konnten somit deutlich minimiert werden. Alle Auswertungen wurden an Aufnahmen in 30-45° flektierten Kniegelenken im seitlichen Strahlengang durchgeführt. Durch die hohe Standardisierung bei der Anfertigung der Aufnahmen können unsere Ergebnisse mit denen aus vorangegangenen Studien verglichen werden (30, 92).

6.2.2. Messmethoden der Patellahöhe

Die Bestimmung der Patellahöhe war in der Vergangenheit Thema zahlreicher Studien. All diese Methoden haben ihre jeweiligen Vor- und Nachteile (11 – 14, 79, 81 – 86, 88, 89, 91, 96, 97). Einige große Nachteile in der Kalkulation der Patellahöhe waren teils enorme Unterschiede hinsichtlich der Intra- und Interobserver Reliabilität, Variabilität und Reproduzierbarkeit abhängig von der verwendeten Messmethode. Berg et al. zeigten dass die Messmethode nach Blackburne-Peel nur moderat reproduzierbar war (83). Die Messungen in dieser Studie wurden von insgesamt 3 verschiedenen Untersuchern durchgeführt. Auch Seil et al. konnten im Jahr 2000 für diese Methode die niedrigste interobserver Reliabilität nachweisen (85). Aparicio et al. postulierten dass der Caton-Deschamps Index zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter eine höhere Reliabilität und Reproduzierbarkeit als der Blackburne-Peel Index aufweist (91). Scuderi et al. konnten sogar große Unterschiede hinsichtlich der Diagnose einer Patella baja nach hoher tibialer Umstellungsosteotomie beobachten, abhängig davon, ob die Auswertungen mittels Insall-Salvati- oder mittels Blackburne-Peel Index durchgeführt wurden (89% vs. 73%) (35).

Basierend auf diesem Wissen stellten Portner und Pakzad im Jahre 2011 eine neue Methode zur Bestimmung der Patellahöhe vor (30). Dem Plateau-Patella Winkel wurde

hierbei eine hohe Reproduzierbarkeit, Zeitersparnis und technisch sehr einfache Durchführbarkeit zugesprochen (30). In ihrer Originalstudie konnten die Autoren für ihre Messmethode eine höhere Inter- und Intraobserver Reliabilität als für die bisher etablierten Methoden nach Insall-Salvati, Blackburne-Peel und Caton-Deschamps nachweisen. Zudem zeigte der PPA eine exzellente Korrelation mit den 3 genannten Vergleichsmessmethoden, wobei der Blackburne-Peel Index eine noch höhere Korrelation als der Caton-Deschamps- oder Insall-Salvati Index aufweisen konnte. Vorteile der Methode nach Portner und Pakzad sind neben der technisch einfachen Anwendbarkeit, dass die Messwerte einfach zu merken sind und die Methode zudem unabhängig von einem radiologischen Vergrößerungsfaktor ist. Der PPA nutzt verglichen mit anderen Methoden weder die Länge der Kniescheibe noch die Länge der Patellarsehne welche in der klinischen Praxis oftmals nativradiologisch nicht einfach zu identifizieren sind. Bei allen bisher etablierten Messmethoden sind zur Bestimmung der Patellahöhe zwei Messungen mit einer konsekutiven Berechnung eines Index notwendig während für die Auswertung mittels PPA lediglich eine Messung ohne anschließende Kalkulation erforderlich ist (30). Seit seiner erstmaligen Beschreibung im Jahre 2011 wurde der PPA in der Vergangenheit in diversen Studien angewendet. So nutzten Lazaro et al. 2013 den PPA um das Outcome nach operativer Therapie komplexer Patellafrakturen zu evaluieren (98). Lykissas et al. verwendeten den Plateau-Patella Winkel zur Bestimmung der Patellahöhe nach Rekonstruktion des medialen patellofemoralen Bandapparates (99). Die Messmethode konnte sich in vorangehenden Arbeiten desweiteren zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe nach hoher tibialer Umstellungsosteotomie (100), nach totalem endoprothetischem Kniegelenkersatz (94) und bei der Analyse der Patellahöhe in osteoarthritischen Kniegelenken (95) etablieren. In den Arbeiten wurde von den Autoren einheitlich die einfache technische Anwendbarkeit, eine hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität sowie gute Korrelation des PPA mit anderen bisher etablierten Messmethoden beobachtet werden. Eine Übersicht über die vorangehenden Arbeiten, in denen sich der PPA in der Vergangenheit etablierte wird Tabelle 9 veranschaulicht (Tbl. 9). Zwar konnte nun in vorangegangenen Studien die Anwendbarkeit bei Patienten mit Gonarthrose (95) und bei Patienten mit totaler Kniegelenkendoprothese (94) demonstriert werden. Ob der PPA jedoch auch im Kindes- und Adolozzentenalter anwendbar ist, ist bis heute nicht geklärt.

Etliche Methoden zur Bestimmung der Patellahöhe, die sich in der Erwachsenenpopulation

Studie	Jahr der Publikation	Anzahl Kniegelenke	Thema der Studie	Ergebnisse Patellahöhe mittels Plateau-Patella Winkel (PPA)	Evidenzstufe
Lazaro et al.	2013	30	ORIF von Patellafrakturen	57% Patella baja	IV
Lykissas et al.	2013	38	MPFL Rekonstruktion	IS: 37 alta; BP: 37 alta; CD: 32 alta; PPA: 28 alta. Signifanter Abfall der Patellahöhe im Vergleich präoperativ zu 6 Monate postoperativ für IS-, CD, BP, and PPA; höchster Abfall für BP und CD, geringster Abfall für IS; PPA: prä-op intrarater Reliabilität (ICC) 0.75 [0.57-0.86], postop 0.93 [0.86-0.96]	III
Portner and Pakzad	2011	269	Diagnostische Studie, Vergleich zwischen IS, BP, CD (erste Beschreibung des PPA)	Höher intra- und interobserver Reliabilität als IS > BP > CD; hervorragende Korrelation mit diesen Indices (BP > CD > IS)	II
Portner	2014	76	HTO 18: geschlossene Umstellungsosteotomie (cwo), 26 offene Umstellungsosteotomie (opo), 32 kombinierte Umstellungsosteotomien (co)	100 % der cwo's signifikanter Anstieg der Patellahöhe 100% of opo's signifikanter Abfall der Patellahöhe 22/32 co's Anstieg, 10/32 erniedrigte Patellahöhe Weibliche Patienten zeigten signifikant höhere Patellapositionen als männliche; ältere Patienten zeigten signifikant höhere Patellapositionen als jüngere.	III
Ellington et al.	2014	297	Moderate zu schweren osteoarthritischen Kniegelenken	Hohe inter- und intraobserver Reliabilität; PPA korrelierte am besten mit BP gefolgt vom CD und IS	IV
Robin et al.	2014	279	Knietotalendoprothese	Hohe inter- und intraobserver Reliabilität; PPA korrelierte am besten mit BP gefolgt vom CD und IS	IV

Tabelle 9: Überblick über die für diese Arbeit relevanten Studien. Alle Studien postulieren die einfache Anwendbarkeit des Plateau-Patella Winkels (PPA), eine hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität sowie eine hohe Korrelation der Methode mit bisher etablierten Techniken. HTO: high tibial osteotomy, cwo: closing-wedge osteotomy, owo: open-wedge osteotomy, co: combined osteotomy, ORIF: Open Reduction Internal Fixation, MPFL: medial patellofemoral ligament, IS: Insall-Salvati, BP: Blackburne-Peel, CD: Caton-Deschamps, PPA: Plateau-Patella Winkel, ICC: Intraklassenkorrelation.

etabliert haben, sind im Kindesalter nicht anwendbar, da sie entweder keine validen Ergebnisse liefern oder ihre Durchführung im klinischen Alltag wenig praktikabel zu sein scheint (88, 89, 91).

Nur wenige Studien beschäftigten sich in der Vergangenheit mit der Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Adolozzentenalter zu untersuchen. Die Methode von Koshino und Sugimoto (28) verfügt über den Vorteil, dass erstmals auf die Wachstumsfugen der heranwachsenden Patientenpopulation eingegangen wurde. Die Technik konnte sich jedoch aufgrund der vielen, nativradiologisch nicht immer einfach zu identifizierenden Landmarken und der aufwendigen Kalkulation aus zwei verschiedenen Messstrecken in der klinischen Praxis nicht durchsetzen. Zudem ist diese Methode mit einer hohen Röntgenstrahlenexposition für die Kinder und Jugendlichen verbunden (91). Die Methode von Micheli et al. (27) ermöglicht die einfache Identifikation von radiologischen Landmarken, jedoch ist auch hier eine Kalkulation eines Index notwendig, was in der klinischen Praxis technisch aufwendiger und zeitintensiver ist. Zudem berücksichtigen die Autoren bei den Messungen nicht das jeweilige Skelettalter der Kinder und Jugendlichen. Die Messmethode nach Micheli et al. konnte sich in der klinischen Praxis nicht adäquat durchsetzen.

Es ist gut bekannt, dass der CDI bei der Bestimmung der Kniescheibenhöhe im Erwachsenenalter in hohem Maße reproduzierbare Ergebnisse liefert (83). Basierend auf diesem Wissen untersuchten Thévenin-Lemoine et al. die Anwendbarkeit des Caton-Deschamps Index zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter (92). Die Autoren postulierten, dass der CDI die zuverlässigste und am besten geeignete Messtechnik in dieser Patientenpopulation ist und den Methoden nach Insall-Salvati und der nach Koshino sogar überlegen zu sein scheint. In dieser Studie konnte eine hohe Korrelation zwischen dem CDI und dem jeweiligen Patientenalter beobachtet werden. Dies könnte durch die Tatsache erklärt werden, dass die Ossifikation der Kniescheibe im Wachstumsalter am proximalen Patellapol beginnt, welcher bei der Ausmessung mittels dieser Messtechnik stets miterfasst wird. Folglich konnte sich der skelettaltersspezifische Caton-Deschamps Index in der Vergangenheit bei der Bestimmung der Kniescheibenhöhe von Kindern und Adolozzenten in der klinischen Praxis besonders gut etablieren und ist noch heute neben der Methode nach Insall-Salvati in dieser Patientenpopulation am weitesten verbreitet. Auch Aparicio et al. sprachen dem CDI in dieser jungen Patientenpopulation validere Messergebnisse als den bisher im Erwachsenenalter etablierten Messmethoden zu (91). Allerdings sind zur Kalkulation des Index jeweils zwei Messungen notwendig was die Methode zeitaufwendig und wenig praktikabel in ihrer klinischen Anwendung macht. Da

sich der CDI zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter bis heute am besten etabliert hat und der Goldstandard zu sein scheint (92), diene er uns in der hier vorliegenden Studie als Vergleichsmethode.

6.3. Ergebnisse

6.3.1. Messergebnisse und Korrelationen

Ziel der vorliegenden Studie war es zu prüfen, ob der Plateau-Patella Winkel auch bei der Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter angewendet werden kann und ob diese neue Methode mit der bisher etablierten Messtechnik nach Caton-Deschamps Index gut korreliert.

6.3.1.1. Kontingenzanalyse

In der hier vorliegenden Studie wurden mittels Plateau-Patella Winkel 119 Patellae normae, 61 Patellae altae und 4 Patellae bae diagnostiziert. Dahingegen wurden nach der Messmethode nach Caton-Deschamps 161 Kniescheiben als normal, 23 als zu hoch und keine als Patella baja identifiziert.

Insgesamt wurden somit mittels PPA 42 mehr pathologische Kniescheibenpositionen diagnostiziert als mittels CDI. Da unsere Ergebnisse zeigen, dass der PPA sogar eine höhere Intra- und Interobserver Reliabilität aufweist, könnte es sein, dass durch Anwendung des Caton-Deschamps Index zur Bestimmung der Patellahöhe im Kindesalter mehr pathologische Patellapositionen übersehen werden, was möglicherweise mit einer Fehlinterpretation des Krankheitsbildes mit entsprechend versäumten Therapiemaßnahmen einhergehen könnte.

6.3.1.2. Messergebnisse

Bei der Bestimmung der Patellahöhe mittels PPA betrug der Mittelwert der Messergebnisse in der vorliegenden Arbeit bei Untersucher 1 29,07°, bei Untersucher 2 28,6°. Portner und Pakzad erhielten Werte zwischen 25,7° und 25,3° erhoben von zwei unterschiedlichen Untersuchern (30). Das Durchschnittsalter betrug in dieser Studie 58,5 Jahre, wohingegen es in der hier vorliegenden Arbeit bei 12,4 Jahren lag. Ellington et al. beschrieben bei der Ausmessung der Kniescheibenhöhe in osteoarthritischen Kniegelenken von Erwachsenen Werte zwischen 25,55°, 25,31°, and 24,42° erhoben durch drei verschiedene Beobachter

(95). Auch in dieser Studie lag das Durchschnittsalter der Patienten deutlich über dem 18. Lebensjahr, da die Autoren selektiv arthrotische Kniegelenke des älteren Menschen untersuchten.

Eine mögliche Erklärung für die höheren PPA-Werte in der hier vorliegenden Arbeit könnte das jüngere Patientenalter verglichen mit dem fortgeschrittenen Alter der Erwachsenenpopulation in den Arbeiten von Portner und Ellington (30, 95) sein. Der mögliche Einfluss des Patientenalters auf die Patellahöhe wurde in der Vergangenheit bereits von anderen Autoren diskutiert. So beschrieben bereits Walker et al. und Kar et al., dass die Patellaposition im Kindes- und Jugendalter etwas höher ist als in der Erwachsenenpopulation (87, 90). Shin et al. Stellten ebenfalls fest, dass bei Jugendlichen zwischen 10 und 19 Jahren häufiger höhere Messwerte für die Patellahöhe beobachtet werden können (88).

Thévenin-Lemoine et al. postulierten, dass die Länge der Patella selbst wie auch die Patellasehne mit zunehmendem Alter signifikant ansteigt während der Caton-Deschamps Index signifikant geringer wird (92).

Bei der Bestimmung der Patellahöhe mittels CDI konnten bei beiden Untersuchern nahezu identische Messergebnisse erhoben werden. Der Mittelwert des Caton-Deschamps Index betrug bei Untersucher 1 1,13 und bei Untersucher 2 1,15. Diese Ergebnisse korrelieren mit denen von Seil et al., die dem CDI bereits im Jahr 2000 in einer klinischen Studie eine sehr hohe Reproduzierbarkeit zuschrieben (85). In der Arbeit von Portner und Pakzad erhielten die Autoren bei der Bestimmung der Patellahöhe mittels CDI bei Untersucher 1 Werte von 0,95 und bei Untersucher 2 von 0,96 (30). Die Indices wurden somit verglichen mit denen unserer Arbeit geringfügig niedriger bemessen. Eine mögliche Erklärung für die höheren CDI-Werte in unserer Studie könnte auch hier das jüngere Patientenalter sein. Aparicio et al. untersuchten die Patellahöhe bei Probanden, die zwischen 10 und 15 Jahren alt waren und stellten analog zu unseren Ergebnissen fest, dass der Durchschnittswert des Caton-Deschamps-Index je nach Untersucher zwischen 1,11 und 1,14 betrug (91). Auch Thévenin-Lemoine et al. berichteten, dass die Patellahöhe bei Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 15 Jahren niedriger zu sein scheint als im Erwachsenenalter (92). Die Autoren beschrieben in dieser Patientenpopulation Caton-Deschamps Indices von durchschnittlich 1,13 (92).

Bei der Betrachtung der Messergebnisse in den einzelnen Subgruppen konnte ebenfalls

eine hohe Reproduzierbarkeit beobachtet werden. In der Gruppe der Kinder, die 12 Jahre und jünger waren, betrug der Plateau-Patella Winkel bei Untersucher 1 $28,52^\circ$ und bei Untersucher 2 $27,74^\circ$. Bei der Bestimmung der Kniescheibenhöhe mittels Caton-Deschamps-Index zeigten sich in dieser Subpopulation bei beiden Untersuchern identische Werte von jeweils 1,1. Auch Thévenin-Lemoine et al. konnten in dieser Altersklasse (8 bis 11-jährige Kinder) mittels CDI Messwerte von durchschnittlich 1,13 beobachten (92), welche mit unseren Ergebnissen nahezu identisch waren.

Auch bei der Analyse der Messergebnisse in der Gruppe der über 12 Jährigen zeigte sich für beide Messmethoden eine hohe Reproduzierbarkeit. Mittels PPA konnten durch Untersucher 1 Werte zwischen $20-42^\circ$, durch Untersucher 2 zwischen $20-44^\circ$ erhoben werden.

Bei der Auswertung mittels der Methode nach Caton-Deschamps zeigte sich für Untersucher 1 ein CDI von durchschnittlich 1,14 und für Untersucher 2 ein nur geringfügig höherer Index von durchschnittlich 1,18. In dieser Altersklasse (12 bis 16 Jahre) gewannen Thévenin-Lemoine et al. bei der Bestimmung der Patellahöhe nach der Methode von Caton-Deschamps niedrigere Werte von 1,07 (92). Die nur geringfügige Diskrepanz könnte durch die unterschiedliche Fallzahl der untersuchten Personen erklärt werden.

Beim Vergleich der Messergebnisse der Patienten, die 12 Jahre und jünger waren zu der älteren Subgruppe konnten beide Untersucher sowohl bei der Erhebung der Daten mittels PPA als auch CDI feststellen, dass die durchschnittlichen Messwerte in der Subgruppe der Jugendlichen über 12 Jahre höher liegen als in der jüngeren Patientenpopulation. Im Mittel lag der Unterschied bei 1° bis $1,58^\circ$ beim Plateau-Patella Winkel und bei 0,03 bis 0,07 beim Caton-Deschamps-Index. Eine Erklärung hierfür könnte der mögliche Einfluss des Patientenalters auf die Kniescheibenhöhe sein, welche bereits in diversen vorangegangenen Studien beschrieben wurde (87, 88, 90). Analog zu unseren Ergebnissen konnten die Autoren mit zunehmendem Patientenalter eine niedrigere Patellahöhe beobachten (87, 88, 90). Dies steht jedoch im Gegensatz zu den Ergebnissen von Thévenin-Lemoine et al., welche mittels der Methode nach Caton-Deschamps bei Patienten, die über 12 Jahre alt waren durchschnittlich geringere Indices beobachteten als in der jüngeren Population (92). Ein möglicher Grund für die Diskrepanz der Ergebnisse dieser Studie zu den bisherigen Arbeiten könnte sein, dass die Autoren nur Röntgenaufnahmen gesunder Patienten untersuchten und jene, die eine Pathologie aufwiesen in der Gesamtinterpretation

ausschlossen (92).

Auch in den Subgruppen der männlichen und weiblichen Probanden konnte sowohl bei der Bestimmung der Patellahöhe mittels PPA als auch mittels CDI eine hohe Reproduzierbarkeit der Messergebnisse beobachtet werden. Vergleicht man die Ergebnisse der Jungen mit denen der Mädchen, so fällt auf, dass die durchschnittlichen PPA Werte bei den männlichen Patienten bei beiden Untersuchern geringfügig höher lagen als bei den weiblichen Probanden. Analog hierzu konnte durch die Untersucher auch ein geringfügig höherer Caton-Deschamps-Index bei männlichen Personen verglichen zu den weiblichen Patienten beobachtet werden. Diese Unterschiede waren nicht signifikant. Kar et al. untersuchten in einer Arbeit aus dem Jahr 2012 den Einfluss des Geschlechts auf die Patellahöhe und konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede bei Frauen und Männern feststellen (90).

Bei der Analyse der Messergebnisse in den Subgruppen der rechten und linken Seite zeigte sich ebenfalls eine sehr hohe Reproduzierbarkeit der Ergebnisse für beide Untersuchungsmethoden. So unterschieden sich sowohl der durchschnittliche PPA, als auch der durchschnittliche CDI bei beiden Untersuchern nicht signifikant voneinander.

6.3.1.3. Korrelation der Untersuchungszeitpunkte

Unsere Ergebnisse zeigten eine hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität für den PPA mit einer hohen Korrelation der beiden Messmethoden untereinander. Die Messungen waren von beiden Untersuchern technisch einfach durchzuführen mit einer subjektiven Zeitersparnis aufgrund der nicht notwendigen Kalkulation aus verschiedenen Messwerten. Die hohe Intra- und Interobserver Reliabilität wurde für das Erwachsenenalter bereits in vorangehenden Studien unabhängig vom Erkrankungsbild und der jeweiligen Röntgenindikationen eingehend belegt (Tbl. 9). Die in dieser Arbeit vorgestellten Ergebnisse demonstrieren sogar eine höhere Reproduzierbarkeit für den Plateau-Patella Winkel als für den Caton-Deschamps Index, was auch von anderen Autoren in der Vergangenheit beobachtet werden konnte (92, 94, 95).

Zur Ermittlung der inter- und intraobserver Reliabilität wurde in dieser Studie die Intra-Klassen-Korrelation (ICC) angewendet. Dieses Verfahren hat sich in der Vergangenheit bereits in vergleichbaren Studien gut etabliert (30, 94, 95).

Dass der Plateau-Patella Winkel bei der Bestimmung der Patellahöhe durch verschiedene

Untersucher bei Erwachsenenkniegelenken eine hohe Intraklassen-Korrelation aufweist, ist bereits bekannt (30). Portner und Pakzad erhoben im Rahmen der Erstbeschreibung des PPA an Erwachsenenkniegelenken eine Intraklassenkorrelation von 0,83 (95%-Konfidenzintervall 0,78-0,88) durch Untersucher 1 und 0,92 (95%-Konfidenzintervall 0,90-0,95) durch Untersucher 2 (30). Die ICC-Werte im Gesamtkollektiv der hier vorliegenden Studie lagen für den Plateau-Patella Winkel bei beiden Untersuchern bei durchschnittlich 0,87 (95%-Konfidenzintervall von 0,78-0,93), was eine sehr hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität nachweist und die mögliche Anwendbarkeit der Methode auch an kindlichen Kniegelenken bestätigt.

Robin et al. konnten in ihrer Arbeit sogar noch höhere ICC-Werte von 0,94 (95%-Konfidenzintervall 0,93-0,95) nachweisen (94). Grund für die noch höhere Intraklassenkorrelation mag sein, dass nach endoprothetischer Versorgung die anatomischen Landmarken, insbesondere das Tibiaplateau, nativradiologisch mit größerer Genauigkeit abzugrenzen ist und so die vom jeweiligen Untersucher abhängigen Messungenauigkeiten minimiert werden könnten.

Auch die Methode nach Caton-Deschamps zeigte in der hier vorgestellten Studie eine sehr hohe Inter- und intraobserver Reliabilität. Der Intraklassen-Korrelationskoeffizient betrug im Mittel bei Untersucher 1 0,83 (95%-Konfidenzintervall 0,72-0,9) und bei Untersucher 2 0,78 (95%-Konfidenzintervallen 0,63-0,87). Portner und Pakzad erzielten in ihrer Arbeit geringfügig niedrigere ICC-Werte von 0,68 (95%-KI 0,59-0,76) bei Untersucher 1 und 0,73 (0,65-0,82) bei Untersucher 2 (30). Der Caton-Deschamps Index scheint demnach im Kindesalter sogar noch eine bessere Reproduzierbarkeit als im Erwachsenenalter nachzuweisen, was die Ergebnisse von Thévenin-Lemoine et al. bestätigten, die in der Vergangenheit dem CDI zur Bestimmung der Kniescheibenhöhe in dieser Patientenpopulation die höchste Validität zuschrieben (92).

Bei Betrachtung unserer Ergebnisse im Gesamtpatientenkollektiv zeigte sich für den PPA bei beiden Untersuchern eine höhere Intraklassenkorrelation, die sich voneinander nicht wesentlich unterschied. Demnach scheint der Plateau-Patella Winkel dem Caton-Deschamps Index hinsichtlich seiner Inter- und Intraobserver Reliabilität sogar überlegen zu sein. Auch bei der Bestimmung der Patellahöhe im Erwachsenenalter wurde dem PPA in vergleichbaren Studien eine höhere intraobserver Zuverlässigkeit zugesprochen als dem CDI (30, 94, 95). Dass der Intraklassen-Korrelationskoeffizient für den Caton-Deschamps-

Index in unserer Studie bei Untersucher 2 geringfügig niedriger als bei Untersucher 1 war, führen die Autoren auf die geringere klinische Erfahrung des zweiten Untersuchers bei der Auswertung von Röntgenbildern zurück.

Bei der Analyse der Inter- und Intraobserver Reliabilität in den Subgruppen konnte bei beiden Untersuchern für beide Messmethoden eine sehr hohe Intraklassenkorrelation beobachtet werden, die sich kaum voneinander unterschied. Das Geschlecht, Alter und die Kniegelenksseite scheinen auf die gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse keinen Einfluss zu nehmen.

6.3.1.4. Korrelation der Untersuchungsmethoden

Zur Überprüfung der Korrelationen der beiden Messmethoden untereinander, wurde in der hier vorliegenden Studie der Pearson-Korrelationskoeffizient angewendet. Dieses Verfahren hat sich in der Vergangenheit bereits in vergleichbaren Studien gut etabliert (30, 94, 95).

Bei der Betrachtung der Messergebnisse im Gesamtkollektiv konnte eine signifikante Korrelation der beiden Messmethoden untereinander beobachtet werden. So betrug der Pearsonkoeffizient bei Untersucher 1 zum ersten Untersuchungszeitpunkt 0,774, zum zweiten 0,532. Bei Untersucher 2 betrug der Koeffizient zum Zeitpunkt 1 0,422, zum Zeitpunkt 2 0,511. Die geringfügig besseren Korrelationen bei Untersucher 1 führten wir auf die größere klinische Erfahrung des ersten Untersuchers bei der Auswertung von Röntgenaufnahmen zurück. Interessanter Weise konnte für den unerfahrenen Untersucher zum Messzeitpunkt 2 eine höhere Pearsonkorrelation beobachtet werden als zum Zeitpunkt 1, was als Lernkurve des unerfahrenen Untersuchers interpretiert werden könnte.

Bei der Analyse der Korrelationen der Messmethoden untereinander in den einzelnen Subgruppen zeigten sich einige Diskrepanzen hinsichtlich des Patientenalters, Geschlechts und der untersuchten Kniegelenksseite. Allerdings konnten diese Unterschiede in der Vergangenheit bereits von anderen Autoren beobachtet werden (100, 101). Nach hoher tibialer Umstellungsosteotomie konnte eine signifikant höhere Patellaposition bei weiblichen als bei männlichen Patienten beobachtet werden (100). Grund hierfür könnte sein, dass weibliche eine andere Anatomie als männliche Kniegelenke aufweisen (102, 103). Auch ein zunehmendes Patientenalter scheint mit einem Höhertreten der Kniescheibe assoziiert zu sein (100). Desweiteren könnten Unterschiede in der Länge des

Quadricepsmuskels die Patellahöhe beeinflussen, was die unterschiedlichen Ergebnisse bei der Analyse der linken zur rechten Seite erklären könnte. Yiannakopoulos et al. konnten durch Messungen durch 4 verschiedene Methoden feststellen, dass die Kontraktion des Quadriceps einen deutlichen Einfluss auf die Kniescheibenhöhe hatte (104).

7. Schlussfolgerungen

In dieser Studie konnte gezeigt werden, dass:

- die Bestimmung der Patellahöhe mittels Plateau-Patella-Winkel auch bei Kindern und Adoleszenten eine präzise Messmethode mit einer guten Reproduzierbarkeit (hohe Inter- und Intraobserver Reliabilität) ist.
- die Messungen, wenn sie durch unterschiedliche Personen durchgeführt werden, eine hohe Korrelation der Ergebnisse zeigen.
- die Methode ist zeitsparend und im klinischen Alltag technisch einfach anzuwenden.
- zur Bestimmung der Patellahöhe keine komplexen Berechnungen notwendig sind und die physiologischen sowie pathologischen Winkelgrade einfach zu merken sind.

Zukünftige Studien mit größerer Fallzahl und breiterem Krankheitspektrum könnten im Verlauf dazu beitragen die Frage zu klären, ob diese Methode auch bei der Erfassung von Krankheitsbildern im klinischen Alltag den bisher etablierten Methoden voraus ist.

8. Literaturverzeichnis

1. Yoo JH, Yi SR, Kim JH. The geometry of patella and patellar tendon measured on knee MRI. *Surg Radiol Anat.* 2007 Dec;29(8):623-8
2. Feller JA, Amis AA, Andrish JT, Arendt EA, Erasmus PJ, Powers CM. Surgical biomechanics of the patellofemoral joint. *Arthroscopy.* 2007 May;23(5):542-53
3. Goddfellow J, Hungerford DS, Zindel M. Patello-femoral joint mechanics and pathology. 1. Functional anatomy of the patello-femoral joint. *J Bone Joint Surg Br.* 1976 Aug;58(3):287-90
4. Hungerford DS, Barry M. Biomechanics of the patellofemoral joint. *Clin Orthop Relat Res.* 1979 Oct;(144):9-15
5. Grelsamer RP, Weinstein CH. Applied biomechanics of the patella. *Clin Orthop Relat Res.* 2001 Aug;(389):9-14
6. LJ Wurzinger. *Duale Reihe Anatomie.* Thieme. 2007;346-74
7. Müller W. Femoropatellar joint. Aspects of anatomy, physiology and pathophysiology. *Orthopäde.* 1985 Sep;14(4):204-14
8. Amis AA, Firer P, Mountney J, Senavongse W, Thomas NP. Anatomy and biomechanics of the medial patellofemoral ligament. *Knee.* 2003 Sep;10(3):215-20
9. Erasmus PJ. The medial patellofemoral ligament: function, injury, and treatment. *Orthopäde.* 2008 Sep;37(9):858, 860-3
10. McAlindon TE, Snow S, Cooper C, Dieppe PA. Radiographic patterns of osteoarthritis of the knee joint in the community: the importance of the patellofemoral joint. *Ann Rheum Dis.* 1992 Jul;51(7):844-9
11. Blumensaat C. Die Lageabweichungen und Verrenkungen der Kniescheibe. *Ergebn Chir Orthop.* 1938;31:149-223
12. Seyahi A, Atalar AC, Koyuncu LO, Cinar BM, Demirhan M. Blumensaat line and patellar height. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2006;40(3):240-7
13. Labelle H, Peides JP, Lévesque HP, Fauteux P, Laurin CA. Evaluation of patellar position by tangential x-ray visualization. *Union Med Can.* 1976 Jun;105(6):870-3
14. Laurin CA, Dussault R, Levesque HP. The tangential x-ray investigation of the patellofemoral joint: x-ray technique, diagnostic criteria and their interpretation. *Clin Orthop Relat Res.* 1979 Oct;(114):16-26
15. Norman O, Egund N, Ekelund L, Rünow A. The vertical position of the patella.

- Acta Orthop Scand. 1983 Dec;54(6):908-13
16. Bernageau J, Goutallier D, Debeyre J, Ferrané J. New exploration technic of the patellofemoral joint. Relaxed axial quadriceps and contracted quadriceps. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1975;61 Suppl 2:286-90
 17. Burgess RC. A new method of determining patellar position. *J Sports Med Phys Fitness.* 1989 Dec;29(4):398-9
 18. Biedert RM, Albrecht S. The patellotrochlear index: a new index for assessing patellar height. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006 Aug;14(8):707-12
 19. Miller TT, Staron RB, Feldman F. Patellar height on sagittal MR imaging of the knee. *AJR Am J Roentgenol.* 1996 Aug;167(2):339-41
 20. Insall J, Salvati E. Patella position in the normal knee joint. *Radiology* 1971 Oct;101(1):101-4
 21. Blackburne JS, Peel TE. A new method of measuring patellar height. *J Bone Joint Surg.* 1977 May;59(2):241-2
 22. Linclau L. Measuring patellar height. *Acta Orthop Belg.* 1984 Jan-Feb;50(1):70-4
 23. de Carvalho A, Holst Andersen A, Topp S, Jurik AG. A method for assessing the height of the patella. *Int Orthop.* 1985;9(3):195-7
 24. Egund N, Lundin A, Wallengren NO. The vertical position of the patella. A new radiographic method for routine use. *Acta Radiol.* 1988 Sep-Oct;29(5):555-8
 25. Grelsamer RP, Meadows S. The modified Insall-Salvati ratio for assessment of patellar height. *Clin Orthop Relat Res.* 1992 Sep;(282):170-6
 26. Leung YF, Wai YL, Leung YC. Patella alta in southern China. A new method of measurement. *Int Orthop.* 1996;20(5):305-10
 27. Micheli LJ, Slater JA, Woods E, Gerbino PG. Patella alta and the adolescent growth spurt. *Clin Orthop Relat Res.* 1986 Dec;(213):159-62
 28. Koshino T, Sugimoto K. New measurement of patellar height in the knees of children using the epiphyseal line midpoint. *J Pediatr Orthop.* 1989 Mar-Apr;9(2):216-8
 29. Caton J, Deschamps G, Chambat P, Lerat JL, Dejour H. Patella infera. Apropos of 128 cases. *Riv Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1982;68:317-25
 30. Portner O, Pakzad H. The evaluation of patellar height: a simple method. *J Bone Joint Surg Am.* 2011 Jan;93(1):73-80

31. Romero J, Borgeat A, Cartier P. Patella baja: Ätiologie, Klinik und Therapie, Arthroskopie. 1999;12:237-45
32. Fahrner H, Rentsch HU, Gerber NJ, Beyeler C, Hess CW, Grünig B. Knee effusion and reflex inhibition of the quadriceps. A bar to effective retraining. J Bone Joint Surg Br. 1988 Aug;70(4):635-8
33. Aho K, Sainio K, Kianta M, Varpanen E. Pneumatic tourniquet paralysis, Case report, J Bone Joint Surg Br 1983 Aug;65(4):441-3
34. Dobner JJ, Nitz AJ. Postmeniscectomy tourniquet palsy and functional sequelae. Am J Sports Med. 1982 Jul-Aug;10(4):211-4
35. Scuderi GR, Windsor RE, Insall JN. Observations on patellar height after proximal tibial osteotomy. J Bone Joint Surg Am. 1989 Feb;71(2):245-8
36. Westrich GH, Peters LE, Haas SB, Buly RL, Windsor RE. Patella height after high tibial osteotomy with internal fixation and early motion. Clin Orthop Relat Res. 1998 Sep;(354):169-74
37. Tigani D, Ferrari D, Trentani P, Barbanti-Brodano G, Trentani F. Patella height after high tibial osteotomy. Int Orthop 2001;24(6):331-4
38. Kaper BP, Bourne RB, Rorabeck CH, Macdonald SJ. Patellar infera after high tibial osteotomy. Journal Arthroplasty 2001 Feb;16(2):168-73
39. Kesmezacar H, Eriner R, Ogut T, Seyahi A, Babacan M, Tenekecioglu Y. Evaluation of patellar height and measurement methods after valgus high tibial osteotomy. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc. 2005 Oct;13(7):539-44
40. Brouwer RW, Bierma-Zienstra SMA, van Koeveeringe AJ, Verhaar JA. Patellar height and the inclination of the tibial plateau after high tibial osteotomy. The open versus the closed-wedge technique. J Bone Joint Surg. 2005 Sep;87(9):1227-32
41. Tria AJ Jr, Alicae JA, Cody RP. Patella baja in anterior cruciate ligament reconstruction of the knee. Clin Orthop Relat Res. 1994 Feb;(299):229-34
42. Adam F, Pape D, Kohn D, Seil R. Length of the patellar tendon after anterior cruciate ligament reconstruction with patellar tendon autograft: a prospective clinical study using Roentgen stereometric analysis. Arthroscopy. 2002 Oct;18(8):859-64
43. Lin CF, Wu JJ, Chen TS, Huang TF. Comparison of the Insall-Salvati ratio of the patella in patients with and without an ACL tear. Knee Surg Sports Traumatol

- Arthrosc. 2005 Jan;13(1):8-11
44. Hantes ME, Zachos VC, Bargiotas KA, Basdekis GK, Karantanas AH, Malizos KN. Patellar tendon length after anterior cruciate ligament reconstruction: a comparative magnetic resonance imaging study between patellar and hamstring tendon autografts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2007 Jun;15(6):712-9
 45. Murakami S, Muneta T, Ezura Y, Furuya K, Yamamoto H. Quantitative analysis of synovial fibrosis in the infrapatellar fat pad before and after anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med.* 1997 Jan-Feb;25(1):29-34
 46. Chonko DJ, Lombardi AV Jr, Berend KR. Patella baja and total knee arthroplasty (TKA): etiology, diagnosis, and management. *Surg Technol Int.* 2004;12:231-8
 47. Anagnostakos K, Lorbach O, Kohn D. Patella baja after unicompartmental knee arthroplasty. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012 Aug;20(8):1456-62
 48. Grelsamer RP. Patella baja after total knee arthroplasty: is it really patella baja? *J Arthroplasty.* 2002 Jan;17(1):66-9
 49. Weale AE, Murray DW, Newman JH, Ackroyd CE. The length of the patellar tendon after unicompartmental and total knee replacement. *J Bone Joint Surg.* 1999 Sep;81(5):790-5
 50. Flören M, Davis J, Peterson MG, Laskin RS. A mini-midvastus capsular approach with patellar displacement decreases the prevalence of patella baja. *J Arthroplasty.* 2007 Sep;22(6 Suppl 2):51-7
 51. Lemon M, Packham I, Narang K, Craig DM. Patellar tendon length after knee arthroplasty with and without preservation of the infrapatellar fat pad. *J Arthroplasty* 2007 Jun;22(4):574-80
 52. Wojtys EM, Oakes B, Lindenfeld TN, Bach BR Jr. Patella infera syndrome: an analysis of the patellar tendon pathology. *Instr Course Lect.* 1997;46:241-50
 53. Ahmad CS, Kwak SD, Ateshian GA, Warden WH, Steadman JR, Mow VC. Effects of patellar tendon adhesion to the anterior tibia on knee mechanics. *Am J Sports Med.* 1998 Sep-Oct;26(5):715-724
 54. Paulos LE, Wnorowski DC, Beek CL. Rehabilitation following knee surgery. Recommendations. *Sports Med.* 1991 Apr;11(4):257-275
 55. Niethard FU, Pfeil J. *Duale Reihe Orthopädie und Traumatologie.* Thieme. 2003;318-9

56. Stanton-Hicks M, Janig W, Hassenbusch S, Haddox JD, Boas R, Wilson P. Reflex sympathetic dystrophy: changing concepts and taxonomy. *Pain*. 1995 Oct;63(1):127–33
57. Bogduk N, Merskey H. Complex regional pain syndrome. Classification of chronic pain: descriptions of chronic pain syndromes and definition of pain terms, 2nd edn. ISAP Publications, Seattle. 1994
58. Blumberg H, Jänig W. Clinical manifestations of reflex sympathetic dystrophy and sympathetically maintained pain. In: Wall PD, Melzack R., eds. Textbook of pain, 3rd edn. Edinburgh: Churchill Livingstone. 1994
59. Sourbrier M, Dubost JJ, Urosevic Z, Micheau V, Bussière JL, Ristori JM. Contracture of the patellar tendon: an infrequently recognized complication of reflex sympathetic dystrophy of the knee. *Rev Rhum Engl Ed*. 1995 May;62(5):399-400
60. Fulkerson JP. Disorders in the patellofemoral joint, 3rd edn. Williams&Wilkins, Baltimore, 1996;123-135
61. Peltonen J, Vaara P, Marttinen E, Ryöppy S, Poussa M. The knee joint in diastrophic dysplasia. A clinical and radiological study. *J Bone Joint Surg Br*. 1999 Jul;81(4):625-31
62. Henschen P. Gefäßversorgung der Kniegelenksmenisken. Anatomisch-physiologische Eigenheiten des Bergländerknies. *Schweiz Med Wochenschr* 1929;II:1336
63. Neyret P, Robinson AH, Le Coultre B, Lapra C, Chambat P. Patellar tendon length--the factor in patellar instability? *Knee*. 2002 Feb;9(1):3-6
64. Jakob RP, von Gumpfenberg S, Engelhardt P. Does Osgood--Schlatter disease influence the position of the patella? *J Bone Joint Surg Br*. 1981;63B(4):579-82
65. vom Gumpfenberg S, Jakob RP, Engelhardt P. Does Osgood-Schlatter disease modify the position of the patella? *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1984 Nov-Dec;122(6):798-802
66. Hirano A, Fukubayashi T, Ishii T, Ochiai N. Relationship between the patellar height and the disorder of the knee extensor mechanism in immature athletes. *J Paediatr Orthop*. 2001 Jul-Aug;21(4):541-4
67. Kasten P, Schewe B, Maurer F, Gösling T, Krettek C, Weise K. Rupture of the

- patellar tendon: a review of 68 cases and a retrospective study of 29 ruptures comparing two methods of augmentation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2001 Nov;121(10):578-82
68. Ward SR, Terk MR, Powers CM. Patella alta: association with patellofemoral alignment and changes in contact area during weight-bearing. *J Bone Joint Surg Am.* 2007 Aug;89(8):1749-55
69. Ward SR, Powers CM. The influence of patella alta on patellofemoral joint stress during normal and fast walking. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2004 Dec;19(10):1040-7
70. Geenen E, Molenaers G, Martens M. Patella alta in patellofemoral instability. *Acta Orthop Belg.* 1989;55(3):387-93
71. Linclau L, Dokter G. Iatrogenic patella "baja". *Acta Orthop Belg.* 1984 Jan-Feb;50(1):75-80
72. McKeever DC. Recurrent dislocation of the patella. *Clin Orthop.* 1954;3:55-60
73. Lancourt JE, Cristini JA. Patella alta and patella infera. Their etiological role in patellar dislocation, chondromalacia, and apophysitis of the tibial tubercle. *J Bone Joint Surg Am.* 1975 Dec;57(8):1112-5
74. Insall J, Falvo KA, Wise DW. Chondromalacia Patellae. A prospective study. *J Bone Joint Surg Am.* 1976 Jan;58(1):1-8
75. Møller BN, Krebs B, Jurik AG. Patellar height and patellofemoral congruence. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1986;104(6):380-1
76. Merchant AC, Mercer RL, Jacobsen RH, Cool CR. Roentgenographic analysis of patellofemoral congruence. *J Bone Joint Surg Am.* 1974 Oct;56(7):1391-6
77. Dowd GS, Bentley G. Radiographic assessment in patellar instability and chondromalacia patellae. *J Bone Joint Surg Br.* 1986 Mar;68(2):297-300
78. Marks KE, Bentley G. Patella alta and chondromalacia. *J Bone Joint Surg Br.* 1978 Feb;60(1):71-3
79. Phillips CL, Silver DA, Schranz PJ, Mandelia V. The measurement of patellar height: a review of the methods of imaging. *J Bone Joint Surg Br.* 2010 Aug;92(8):1045-53
80. Andersen PT. Congenital deformities of the knee joint in dislocation of the patella and achondroplasia. *Acta Orthop Scand.* 1958;28(1):27-50

81. Bratström H. Patella alta in non-dislocating knee joints. *Acta Orthop Scand*. 1970;41(5):578-88
82. Hepp WR. 2 new methods for determination of the height of patella. *Z Orthop Ihre Grenzgeb*. 1984 Mar-Apr;122:159-66
83. Berg EE, Mason SL, Lucas MJ. Patellar height ratios. A comparison of four measurement methods. *Am J Sports Med*. 1996 Mar-Apr;24(2):218-21
84. Shabshin N, Schweitzer ME, Morrison WB, Parker L. MRI criteria for patella alta and baja. *Skeletal Radiol*. 2004 Aug;33(8):445-50
85. Seil R, Müller B, Georg T, Kohn D, Rupp S. Reliability and interobserver variability in radiological patellar height ratios. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2000;8(4):231-6
86. Kadakia NR, Ilahi OA. Interobserver variability of the Insall-Salvati ratio. *Orthopedics*. 2003 Mar;26(3):321-3
87. Walker P, Harris I, Leicester A. Patellar tendon-to-patella ratio in children. *J Pediatr Orthop*. 1998 Jan-Feb;18(1):129-31
88. Shin AY, Loncarich DP, Hennrikus WL, Case SR. A Comparison of three methods for measuring patella malalignment in children. *J Pediatr Orthop B*. 1998 Oct;7:303-6
89. Park MS, Chung CY, Lee KM, Lee SH, Choi IH. Which is the best method to determine the patellar height in children and adolescents?. *Clin Orthop Relat Res*. 2010 May;468(5):1344-51
90. Kar MN, Bhakta AB, Mondal GC, Bandyopadhyay M, Kar C Nandi SN. Cange of patellar height with age and sex. *J Indian Med Assoc*. 2012 Dec;110(12):922-5
91. Aparicio G, Abril JC, Albiñana J, Rodriguez-Salvanés F. Patellar height ratios in children: an interobserver study of three methods. *J Pediatr Orthop B*. 1999 Jan;8(1):29-32
92. Thévenin-Lemoine C, Ferrand M, Courvoisier A, Damsin JP, Ducou le Pointe HD, Vialle R. Is the Caton-Deschamps index a valuable ratio to investigate patellar height in children? *J Bone Joint Surg Am*. 2011 Apr;93(8):e35
93. Lilliefors HW. On the Kolmogorow-Smirnow test for normality with mean and variance unknown. *JASA*. 1967 Jun;318(62):399-402
94. Robin BN, Ellington MD, Jupiter DC, Allen BC. Plateau-patella angle in evaluation

- of the patellar height after total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014 Jul;29(7):1394-7
95. Ellington M, Robin B, Jupiter D, Allen B. Plateau-patella angle in evaluation of patellar height in osteoarthritis. *Knee*. 2014 Jun;21(3):699-702
96. Steaubli HU, Bosshard C, Porcellini P, Rauschning W. Magnetic resonance imaging for articular cartilage: cartilage-bone mismatch. *Clin Sports Med*. 2002 Jul;21(3):417-33
97. van Huyssteen AL, Hendrix MR, Barnett AJ, Wakeley CJ, Eldridge JD. Cartilage-bone mismatch in the dysplastic trochlea. An MRI study. *J Bone Joint Surg Br*. 2006 May;88(5):688-91
98. Lazaro LE, Wellman, DS, Sauro G, Pardee NC, Berkes MB, Little MT, Nguyen JT, Helfet DL, Lorch DG. Outcomes after operative fixation of complete articular patellar fractures: assessment of functional impairment. *J Bone Joint Surg Am*. 2013 Jul 17;95(14):e96 1-8
99. Lykissas MG, Li T, Eismann EA, Parikh SN. Does medial patellofemoral ligament reconstruction decrease patellar height? A preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 2014 Jan;34(1):78-85
100. Portner O. High tibial valgus osteotomy: closing, opening or combined? Patellar height as a determining factor. *Clin Orthop Relat Res*. 2014 Nov;472(11):3432-40
101. Anagnostakos K, Lorbach O, Reiter S, Kohn D. Comparison of five patellar height measurement methods in 90° knee flexion. *Int Orthop*. 2011 Dec;35(12):1791-7
102. Conley S, Rosenberg A, Crowninshield R. The female knee: anatomic variations. *J Am Acad Orthop Surg*. 2007;15 Suppl 1:S31-6
103. Hovinga KR, Lerner AL. Anatomic variations between Japanese and Caucasian populations in the healthy young adult knee joint. *J Orthop Res*. 2009 Sep;27(9):1191-6
104. Yiannakopoulos CK, Mataragas E, Antonogiannakis E. The effect of quadriceps contraction during weight-bearing on four patellar height indices. *J Bone Joint Surg Br*. 2008 Jul;90(7):870-3

9. Veröffentlichungen

9.1. Veröffentlichungen zum Thema

Meeting Abstract (WI60-963) Deutscher Kongress für Orthopädie und Unfallchirurgie (DKOU 2015). Berlin, 20.-23.10.2015. Diehl N, Krebs B, Rapp D, Wagenpfeil S, Kohn D, Anagnostakos K. Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter – Vergleich zweier Messmethoden.

Diehl N, Krebs B, Rapp D, Wagenpfeil S, Kohn D, Anagnostakos K. Bestimmung der Patellahöhe im Kindes- und Jugendalter – Vergleich zweier Messmethoden. (In Preparation)

10. Danksagung

Es gibt viele Menschen die an der Fertigstellung dieser Dissertation – in unterschiedlichem Umfang – durch ihre Mithilfe beteiligt waren und deren Beitrag ich in diesem Kapitel herausstellen und diesen Personen dadurch meinen herzlichen Dank aussprechen möchte.

Insbesondere zu erwähnen ist natürlich auch mein Doktorvater Herr PD Dr. med. Konstantinos Anagnostakos, der mir die Möglichkeit gegeben hat in der Klinik für Orthopädie und Orthopädische Chirurgie, Homburg/Saar zu promovieren.. Seine Idee zu dieser Studie, seine Vorstellung zur Auswertung der Daten und seine Hilfestellung bei der richtigen Ausarbeitung der Arbeit waren Grundvoraussetzungen zum Erfolg dieser Dissertation. Dafür möchte ich danke sagen!

Mein besonders großer Dank gilt natürlich meiner Betreuerin Frau Dr. med. Nora Diehl. Danke für den tollen Beistand im ganzen Verlauf der Arbeit, die Hilfe bei der Erstellung der Studie, bei der Erhebung der Daten und deren Auswertung und nicht zuletzt auch ihre Unterstützung bei der korrekten wissenschaftlichen Darstellung der Arbeit in Form dieser Dissertation. Danke für die Bereitschaft jederzeit für meine Fragen zur Verfügung zu stehen und mich in die Durchführung klinischer Studien einzuarbeiten.

Für diesen außergewöhnlichen und vorbildlichen Einsatz als Betreuerin meiner medizinischen Dissertation mein herzlichstes Dankeschön!

Ein besonderes Dankeschön geht an die beiden Mitarbeiter des Instituts für Medizinische Biometrie, Epidemiologie und Medizinische Informatik der Universität des Saarlandes Herr Prof. Dr. Stefan Wagenpfeil und Herr Daniel Rapp, die mir bei der Erstellung der statistischen Auswertungen und der Präsentation der Daten mit ihrer Hilfe zur Seite standen und jederzeit bereit waren meine Fragen zu dieser Thematik vollständig zu beantworten. Hierfür vielen Dank!

Nicht zu vergessen sind selbstverständlich meine Familie und meine Freunde, die mir stets mit Rat und Tat zur Seite standen und mir durch ihre Hilfe den Freiraum ermöglichten diese Dissertation zu schreiben. Danke!